

07.08.04



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten internationalen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the international patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet international spécifiée à la page suivante.

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

Den Haag, den
The Hague,
La Haye, le

25. 02. 2004

Der Präsident des Europäischen Patentamts
Im Auftrag
For the President of the European Patent Office
Le Président de l'Office européen des brevets
p. o.

NATHALIE KUIPER

Patentanmeldung Nr. PCT/EP 02/08193
Patent application no.
Demande de brevet n°



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten internationalen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the international patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet international spécifiée à la page suivante.

**CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT**

**Den Haag, den
The Hague,
La Haye, le**

25. 02. 2004

**Der Präsident des Europäischen Patentamts
Im Auftrag
For the President of the European Patent Office
Le Président de l'Office européen des brevets
p. o.**

~~Shigar~~

NATHALIE KUIPER

Patentanmeldung Nr. PCT/EP 02/08193
Patent application no.
Demande de brevet n°



Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°:

PCT/EP 02/08193

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):

1. Carl Zeiss SMT AG - Oberkochen, Deutschland
2. SINGER, Wolfgang - Aalen, Deutschland (Nur US)
3. EGLE, Wilhelm - Aalen, Deutschland (Nur US)

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

Kollektor mit Befestigungseinrichtungen zum Befestigen von Spiegelschalen

Anmeldetag:
Date of filing:
Date de dépôt:

23. Juli 2002 (23.07.2002)

In Anspruch genommene Priorität(en)
Priority(ies) claimed
Priorité(s) revendiquée(s)

Staat: Deutschland
State:
Pays:

Tag: 10. August 2001
Date: (10.08.2001)

Aktenzeichen: 101 38 313.4
File no.
Numéro de dépôt:

Benennung von Vertragsstaaten : Siehe Formblatt PCT/RO/101 (beigefügt)
Designation of contracting states : See Form PCT/RO/101 (enclosed)
Désignation d'états contractants : Voir Formulaire PCT/RO/101 (ci-joint)

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

Weitere anmelder und/oder weitere erfinder:
4. WEISS, Markus - Aalen, Deutschland (Nur US)
5. HAINZ, Joachim - Aalen, Deutschland (Nur US)
6. WIETZORREK, Joachim - Aalen, Deutschland (Nur US)
7. WANGLER, Johannes - Königsbronn, Deutschland (Nur US)

Weitere prioritätsanspruch:

EP

23. Januar 2002
(23.01.2002)

PCT/EP 02/00608

**Der Name des Anmelders lautete zum Zeitpunkt der Einreichung der Anmeldung:
Carl Zeiss Semiconductor Manufacturing Technologies AG**

Die Eintragung der geänderten Daten ist mit Wirkung vom 04. September 2003 (04.09.2003) erfolgt.

Blatt Nr. 4

Feld Nr. V BESTIMMUNG VON STAATEN

Bitte die entsprechenden Kästchen ankreuzen; wenigstens ein Kästchen muß angekreuzt werden.

Die folgenden Bestimmungen nach Regel 4.9 Absatz a werden hiermit vorgenommen:

Regionales Patent

- ☒ **AP** ARIPO-Patent: GH Ghana, GM Gambia, KE Kenia, LS Lesotho, MW Malawi, MZ Mosambik, SD Sudan, SL Sierra Leone, SZ Swasiland, TZ Vereinigte Republik Tansania, UG Uganda, ZM Sambia, ZW Simbabwe und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Harare-Protokolls und des PCT ist (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben)
- ☒ **EA** Eurasisches Patent: AM Armenien, AZ Aserbaidshjan, BY Belarus, KG Kirgisistan, KZ Kasachstan, MD Republik Moldau, RU Russische Föderation, TJ Tadschikistan, TM Turkmenistan und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Eurasischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☒ **EP** Europäisches Patent: AT Österreich, BE Belgien, CH & LI Schweiz und Liechtenstein, CY Zypern, DE Deutschland, DK Dänemark, ES Spanien, FI Finnland, FR Frankreich, GB Vereinigtes Königreich, GR Griechenland, IE Irland, IT Italien, LU Luxemburg, MC Monaco, NL Niederlande, PT Portugal, SE Schweden, TR Türkei und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat des Europäischen Patentübereinkommens und des PCT ist
- ☒ **OA** OAPI-Patent: BF Burkina Faso, BJ Benin, CF Zentralafrikanische Republik, CG Kongo, CI Côte d'Ivoire, CM Kamerun, GA Gabun, GN Guinea, GQ Äquatorialguinea, GW Guinea-Bissau, ML Mali, MR Mauretanien, NE Niger, SN Senegal, TD Tschad, TG Togo und jeder weitere Staat, der Vertragsstaat der OAPI und des PCT ist (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben)

Nationales Patent (falls eine andere Schutzrechtsart oder ein sonstiges Verfahren gewünscht wird, bitte auf der gepunkteten Linie angeben):

- | | | |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> AE Vereinigte Arabische Emirate | <input checked="" type="checkbox"/> GM Gambia | <input checked="" type="checkbox"/> NZ Neuseeland |
| <input checked="" type="checkbox"/> AG Antigua und Barbuda | <input checked="" type="checkbox"/> HR Kroatien | <input checked="" type="checkbox"/> OM Oman |
| <input checked="" type="checkbox"/> AL Albanien | <input checked="" type="checkbox"/> HU Ungarn | <input checked="" type="checkbox"/> PH Philippinen |
| <input checked="" type="checkbox"/> AM Armenien | <input checked="" type="checkbox"/> ID Indonesien | <input checked="" type="checkbox"/> PL Polen |
| <input checked="" type="checkbox"/> AT Österreich | <input checked="" type="checkbox"/> IL Israel | <input checked="" type="checkbox"/> PT Portugal |
| <input checked="" type="checkbox"/> AU Australien | <input checked="" type="checkbox"/> IN Indien | <input checked="" type="checkbox"/> RO Rumänien |
| <input checked="" type="checkbox"/> AZ Aserbaidshjan | <input checked="" type="checkbox"/> IS Island | <input checked="" type="checkbox"/> RU Russische Föderation |
| <input checked="" type="checkbox"/> BA Bosnien-Herzegowina | <input checked="" type="checkbox"/> JP Japan | |
| <input checked="" type="checkbox"/> BB Barbados | <input checked="" type="checkbox"/> KE Kenia | <input checked="" type="checkbox"/> SD Sudan |
| <input checked="" type="checkbox"/> BG Bulgarien | <input checked="" type="checkbox"/> KG Kirgisistan | <input checked="" type="checkbox"/> SE Schweden |
| <input checked="" type="checkbox"/> BR Brasilien | <input checked="" type="checkbox"/> KP Demokratische Volksrepublik Korea | <input checked="" type="checkbox"/> SG Singapur |
| <input checked="" type="checkbox"/> BY Belarus | <input checked="" type="checkbox"/> KR Republik Korea | <input checked="" type="checkbox"/> SI Slowenien |
| <input checked="" type="checkbox"/> BZ Belize | <input checked="" type="checkbox"/> KZ Kasachstan | <input checked="" type="checkbox"/> SK Slowakei |
| <input checked="" type="checkbox"/> CA Kanada | <input checked="" type="checkbox"/> LC Saint Lucia | <input checked="" type="checkbox"/> SL Sierra Leone |
| <input checked="" type="checkbox"/> CH & LI Schweiz und Liechtenstein | <input checked="" type="checkbox"/> LK Sri Lanka | <input checked="" type="checkbox"/> TJ Tadschikistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> CN China | <input checked="" type="checkbox"/> LR Liberia | <input checked="" type="checkbox"/> TM Turkmenistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> CO Kolumbien | <input checked="" type="checkbox"/> LS Lesotho | <input checked="" type="checkbox"/> TN Tunesien |
| <input checked="" type="checkbox"/> CR Costa Rica | <input checked="" type="checkbox"/> LT Litauen | <input checked="" type="checkbox"/> TR Türkei |
| <input checked="" type="checkbox"/> CU Kuba | <input checked="" type="checkbox"/> LU Luxemburg | <input checked="" type="checkbox"/> TT Trinidad und Tobago |
| <input checked="" type="checkbox"/> CZ Tschechische Republik | <input checked="" type="checkbox"/> LV Letland | |
| <input checked="" type="checkbox"/> DE Deutschland | <input checked="" type="checkbox"/> MA Marokko | <input checked="" type="checkbox"/> TZ Vereinigte Republik Tansania |
| <input checked="" type="checkbox"/> DK Dänemark | <input checked="" type="checkbox"/> MD Republik Moldau | <input checked="" type="checkbox"/> UA Ukraine |
| <input checked="" type="checkbox"/> DM Dominica | <input checked="" type="checkbox"/> MG Madagaskar | <input checked="" type="checkbox"/> UG Uganda |
| <input checked="" type="checkbox"/> DZ Algerien | <input checked="" type="checkbox"/> MK Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien | <input checked="" type="checkbox"/> US Vereinigte Staaten von Amerika |
| <input checked="" type="checkbox"/> EC Ecuador | <input checked="" type="checkbox"/> MN Mongolei | |
| <input checked="" type="checkbox"/> EE Estland | <input checked="" type="checkbox"/> MW Malawi | <input checked="" type="checkbox"/> UZ Usbekistan |
| <input checked="" type="checkbox"/> ES Spanien | <input checked="" type="checkbox"/> MX Mexiko | <input checked="" type="checkbox"/> VN Vietnam |
| <input checked="" type="checkbox"/> FI Finnland | <input checked="" type="checkbox"/> MZ Mosambik | <input checked="" type="checkbox"/> YU Jugoslawien |
| <input checked="" type="checkbox"/> GB Vereinigtes Königreich | <input checked="" type="checkbox"/> NO Norwegen | <input checked="" type="checkbox"/> ZA Südafrika |
| <input checked="" type="checkbox"/> GD Grenada | | <input checked="" type="checkbox"/> ZM Sambia |
| <input checked="" type="checkbox"/> GE Georgien | | <input checked="" type="checkbox"/> ZW Simbabwe |
| <input checked="" type="checkbox"/> GH Ghana | | |

Kästchen für die Bestimmung von Staaten, die dem PCT nach der Veröffentlichung dieses Formblatts beigetreten sind.

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Erklärung bzgl. vorsorglicher Bestimmungen: Zusätzlich zu den oben genannten Bestimmungen nimmt der Anmelder nach Regel 4.9 Absatz b auch alle anderen nach dem PCT zulässigen Bestimmungen vor mit Ausnahme der im Zusatzfeld genannten Bestimmungen, die von dieser Erklärung ausgenommen sind. Der Anmelder erklärt, daß diese zusätzlichen Bestimmungen unter dem Vorbehalt einer Bestätigung stehen und jede zusätzliche Bestimmung, die vor Ablauf von 15 Monaten ab dem Prioritätsdatum nicht bestätigt wurde, nach Ablauf dieser Frist als vom Anmelder zurückgenommen gilt. (Die Bestätigung (einschließlich der Gebühren) muß beim Anmeldeamt innerhalb der Frist von 15 Monaten eingehen.)

P 15990WO

PCT/EP 0 2 / 0 8 1 9 3

1

Kollektor mit Befestigungseinrichtungen zum Befestigen von Spiegelschalen

Die Erfindung betrifft einen Kollektor für Projektionsbelichtungsanlagen, die im Scan-Modus entlang einer Scanrichtung mit einer Wellenlänge ≤ 193 nm, bevorzugt ≤ 126 nm, insbesondere bevorzugt Wellenlängen im EUV-Bereich betrieben werden. Der Kollektor nimmt von einer Lichtquelle abgestrahltes Licht auf und leuchtet einen Bereich in einer auszuleuchtenden Ebene aus. Der Kollektor umfasst eine Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen, welche um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind.

Des weiteren stellt die Erfindung auch ein Beleuchtungssystem mit einem derartigen Kollektor, eine Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Beleuchtungssystem sowie ein Verfahren zur Belichtung von Mikrostrukturen zur Verfügung.

Genestete Kollektoren für Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere Wellenlängen im Bereich der Röntgenstrahlen sind aus einer Vielzahl von Schriften bekanntgeworden.

So zeigt die US 5,768,339 einen Kollimator für Röntgenstrahlen, wobei der Kollimator mehrere genestete paraboloidförmige Reflektoren aufweist. Der Kollimator gemäß der US 5,768,339 dient dazu, ein isotrop abgestrahltes Strahlbündel einer Röntgen-Lichtquelle in einen parallelen Strahl zu formen.


Aus der US-A-1865441 ist ein genesteter Kollektor für Röntgenstrahlen bekanntgeworden, der wie im Falle der US 5,768,339 dazu dient, von einer Quelle abgegebene isotrope Röntgenstrahlen zu einem parallelen Strahlbündel zu kollimieren.

P 15990WO

2

Die US 5,763,930 zeigt einen genesteten Kollektor für eine Pinch-Plasma-Lichtquelle, der dazu dient, die von der Lichtquelle abgegebene Strahlung zu sammeln und in einen Lichtleiter zu bündeln.

5 Die US 5,745,547 zeigt mehrere Anordnungen von Multikanaloptiken, die dazu dienen, durch Mehrfachreflexionen die Strahlung einer Quelle, insbesondere Röntgenstrahlung, in einem Punkt zu bündeln.

10  Um eine besonders hohe Transmissions-effizienz zu erreichen, schlägt die Erfindung gemäß der US 5,745,547 elliptisch geformte Reflektoren vor.

15 Aus der DE 30 01 059 C2 ist für die Verwendung in Röntgenstrahl-Lithographiesystemen eine Anordnung bekannt geworden, die parabolische zwischen Röntgenstrahlquelle und Maske angeordnete genestete Spiegel aufweist. Diese Spiegel sind so angeordnet, dass die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Ausgangsstrahlbüschel geformt werden.

20 Die Anordnung gemäß der DE 30 01 059 dient wiederum lediglich dazu, für die Röntgenstrahl-Lithographie eine gute Kollimation zu erreichen.

25 Die aus der WO 99/27542 bekannt gewordene Anordnung von genesteten Reflektoren dient bei einem Röntgenstrahl-Proximity-Lithographie-System dazu, daß Licht einer Lichtquelle zu refokussieren, so daß eine virtuelle Lichtquelle ausgebildet wird. Die genesteten Schalen können Ellipsoidform aufweisen.

30 Aus der US 6,064,072 ist ein genesteter Reflektor für hochenergetische Photonenquellen bekanntgeworden, der dazu dient, die divergierenden Röntgenstrahlen zu einem parallel verlaufenden Strahlbüschel zu formen.

Die WO 00/63922 zeigt einen genesteten Kollektor, der dazu dient, den Neutronenstrahl zu kollimieren.

P 15990WO

3

Aus der WO 01/08162 ist ein genesteter Kollektor für Röntgenstrahlen bekanntgeworden, der sich durch eine Oberflächenrauigkeit der inneren, reflektierenden Fläche, der einzelnen Spiegelschalen von weniger als 12 \AA rms auszeichnet. Die in der WO 01/08162 gezeigten Kollektoren umfassen auch Systeme mit Mehrfachreflexionen, insbesondere auch Woltersysteme, und zeichnen sich durch eine hohe Auflösung, wie sie beispielsweise für die Röntgenlithographie gefordert wird, aus.

Für Beleuchtungsoptiken für die EUV-Lithographie, wie beispielsweise in der DE 199 03 807 oder der WO 99/57732, werden außer an die Auflösung auch hohe Anforderungen an die Gleichmäßigkeit bzw. Uniformität und Telezentrie gestellt.


Aufgabe der Erfindung ist es, einen Kollektor für ein Beleuchtungssystem für die Mikrolithographie mit Wellenlängen $\leq 193 \text{ nm}$, vorzugsweise $< 126 \text{ nm}$, besonders bevorzugt für Wellenlängen im EUV-Bereich anzugeben, der eine ausreichende mechanische Stabilität besitzt und eine hohe Lichteffizienz aufweist. Insbesondere sollen Beeinträchtigungen der Uniformität der Ausleuchtung in der Feldebene durch die Halteeinrichtungen des Kollektors vermieden werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass bei einem genesteten Kollektor, der eine bildseitige Ebene ausleuchtet und mit einer Vielzahl von um eine gemeinsame Rotationsachse rotationssymmetrischen Spiegelschalen aufweist, die einzelnen Spiegelschalen von Befestigungseinrichtungen gehalten werden, wobei die Befestigungseinrichtung Stützspeichen umfasst, die sich in radialer Richtung erstrecken. Die Stützspeichen sind derart angeordnet, dass, wenn sie in die bildseitige auszuleuchtende Ebene projiziert werden, gegenüber der y-Richtung des lokalen Koordinatensystems in der bildseitigen Ebene geneigt sind. Hierbei ist die y-Richtung die Richtung des lokalen Koordinatensystems, die parallel zur Scanrichtung bspw. einer Projektionsbelichtungsanlage, die im Scan-Modus betrieben wird, ist.

P 15990WO

4

5 Generell gilt, dass die mechanische Stabilität verbessert wird, je mehr Stützspeichen eingesetzt werden. Um den Lichtverlust durch Vignettierung aufgrund der sich in radialer Richtung erstreckenden Stützspeichen möglichst gering zu halten, ist es vorteilhaft, wenn die Speichen sehr schmal ausgebildet sind. Besonders bevorzugt weisen die Stützspeichen eine sich in radialer Richtung zur Rotationsachse hin verjüngende Form auf. Dies hat den Vorteil, dass eine hohe Stabilität erreicht wird und andererseits der Lichtverlust durch Abschattungseffekte begrenzt wird, da der prozentuale Anteil an abgeschattetem Bereich bezogen auf den Umfang einer Schale stets ungefähr gleich ist. Dies wird dann erreicht, wenn die Breite der Stützspeiche proportional zum Abstand von der gemeinsamen Rotationsachse zunimmt.

10  Bevorzugt weisen die Stützspeichen Nuten auf, in die die einzelnen Spiegelschalen zur Halterung eingelassen werden können. Eine besonders stabile Ausführungsform ergibt sich, wenn die Spiegelschalen in den Nuten mit den Stützspeichen verklebt werden.

15 Die Stützspeichen erstrecken sich in radialer Richtung in der von der x- und y-Richtung aufgespannten Ebene. Auf der von der x- und y-Richtung aufgespannten Ebene steht die gemeinsame Rotationsachse senkrecht.

20 Die mechanische Stabilität des Kollektors wird noch weiter erhöht, wenn zusätzlich Stege, die sich im wesentlichen parallel zur gemeinsamen Rotationsachse erstrecken, vorgesehen sind.


25 Um eine Abschattung des Lichtes durch die Ausdehnung der Speichen gering zu halten, ist mit Vorteil vorgesehen, daß die Speichen sich in Richtung der Rotationsachse des Kollektors zur auszuleuchtende Ebene hin verjüngen.

30 Erfindungsgemäß können durch eine geschickte Anordnung der Stützspeichen die Einflüsse der mechanischen Halteinrichtungen auf die Uniformität der

P 15990WO

5

5 Ausleuchtung in der Feldebene gering gehalten werden. Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die Stützspeichen derart angeordnet sind, dass dann, wenn sie in die bildseitig auszuleuchtende Ebene projiziert werden, sie gegenüber der y-Richtung in der bildseitig auszuleuchtenden Ebene geneigt sind. Besonders vorteilhaft ist es, wenn mindestens eine Stützspeichen der Vielzahl von Stützspeichen des Kollektors parallel zur x-Richtung, d.h. senkrecht zur Scanrichtung, in der bildseitig auszuleuchtenden Ebene, in oder nahe der das erste optische Element mit ersten Rasterelementen angeordnet ist, verläuft. In der Feldebene werden die Bilder sämtlicher erster Rasterelemente des ersten optischen Elementes überlagert und ergeben das ausgeleuchtete Feld in der Feldebene.

10  10 Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Rasterelemente auf dem ersten optischen Element so angeordnet sind, dass kein Rasterelement im Bereich der Abschattung bzw. Vignettierung einer in x-Richtung verlaufenden Speiche angeordnet ist, da erste Rasterelemente, die auch als Feldfacetten bezeichnet werden und durch eine Stützspeiche vollständig abgeschattet werden, nichts zur Ausleuchtung des Feldes in der Feldebene beitragen können.

20 Sind weitere Stützspeichen vorgesehen, so ist es besonders vorteilhaft, wenn die weiteren Stützspeichen derart angeordnet sind, dass die Abschattungen, die durch diese Stützspeichen aufgrund der Projektion in die bildseitige auszuleuchtende Ebene verursacht werden, derart verlaufen, dass die Vielzahl der ersten Rasterelemente, die auf dem ersten optischen Element angeordnet sind, an jeweils unterschiedlichen Orten geschnitten und damit vignettiert werden. Der Einfluss der Abschattung der einzelnen Feldfacetten durch die Stützspeichen auf die Uniformität des Feldes in der Feldebene ist gering, weil die Bilder der Vielzahl von Feldfacetten in der Feldebene überlagert werden und jede Feldfacette an unterschiedlichen Stellen abgeschattet wird. Dies aber bedeutet, dass wenn 25 unterschiedliche Feldfacetten an unterschiedlichen Stellen vignettiert werden, die Abschattungen nur gering ins Gewicht fallen, da alle anderen Feldfacetten an dieser Stelle vollständig ausgeleuchtet werden. Die Uniformität der Ausleuchtung 30

P 15990WO

6

In der Feldebene wird also nur in geringem Maß beeinträchtigt.

So kann man bei einem System mit 6 Stützspeichen eine Uniformität von z.B. $\Delta SE(x)$ besser als 1.5 % erreichen.

5

Neben dem Kollektor und dem Beleuchtungssystem stellt die Erfindung auch eine EUV-Projektionsbelichtungsanlage sowie ein Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen zur Verfügung.

10

Die Erfindung soll nunmehr anhand der einzelnen Figuren beispielhaft beschrieben werden.

Es zeigen:

15

Figur 1 die Prinzipskizze eines Kollektors mit einer erfindungsgemäßen Befestigungseinrichtung

Figur 2 dreidimensionale Ansicht der Befestigungseinrichtung einer Schale eines erfindungsgemäßen Kollektors mit Kühlringen und Speichen sowie Stegen

20

Figur 3 erstes Element mit Rasterelementen, das in der bildseitigen auszuleuchtenden Ebene des Kollektors angeordnet ist

25

Figur 4 Vignettierung durch die Stützspeichen einer erfindungsgemäßen Befestigungsvorrichtung in der Ebene des ersten optischen Elementes mit ersten Rasterelementen

30

Figur 5a dreidimensionale Ansicht einer ersten Ausführungsform einer Speiche einer Halteeinrichtung

P 15990WO

7

Figur 5b dreidimensionale Ansicht einer zweiten Ausführungsform einer Speiche einer Halteeinrichtung

Figur 6 Prinzipansicht einer Projektionsbelichtungsanlage für die Herstellung mikroelektronischer Bauteile

Figur 7 Koordinatensystem aller optischen Komponenten des Beleuchtungssystems der EUV-Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 6

Figur 8 8-schaliges genestetes Wolter-System

Figur 9 Skizze zur Erläuterung der Koordinaten einer Kollektorschale ausgeführt als Kollektorsystem mit zwei Reflexionen

Figur 10 Überlagerung der Bilder der ersten Rasterelemente in der Feldebene

Figur 11 Verlauf der Scan-integrierten Energie $SE(x)$

Figuren unterschiedliche Anordnung der Speichen in der x-y-Ebene
12a – 12c

In Figur 1 ist eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen genesteten Kollektors mit beispielsweise zwei ineinander angeordneten Spiegelschalen 1004.1, 1004.2 gezeigt, bei denen die Ringapertur-elemente, über die das Licht der Lichtquelle 1 vom Kollektor aufgenommen wird, eine Lücke 1000 zwischen den objektseitigen Ringapertur-elementen 1002.1 und 1002.2 der ersten Spiegelschale 1004.1 und der zweiten Spiegelschale 1004.2 aufweisen. Die bildseitigen Ringelemente 1003.1, 1003.2, in die das von der Lichtquelle 1 aufgenommene Licht in der auszuleuchtenden, bildseitigen Ebene 3 geleitet wird, schließen direkt aneinander an, so dass im Bildraum, d.h. der bildseitig auszuleuchtenden Ebene, bis auf die notwendige Zentralabschattung 1005 keine

P 15990WO

8

Lücke vorliegt. Bei dem dargestellten Kollektor sind im ungenutzten Bereich der zwischen den beiden Spiegelschalen 1004.1, 1004.2 sowie innerhalb und außerhalb des Kollektors Kühleinrichtungen 1006.1, 1006.2, 1006.3 angeordnet. Die Spiegelschalen 1004.1, 1004.2 enden in etwa einer Ebene 1008 und werden in dieser Ebene 1008 erfindungsgemäß durch ein Speichenrad, von dem eine Speiche 1010 gezeigt ist, gefaßt. Jede Spiegelschale 1004.1, 1004.2 der dargestellten Ausführungsform umfaßt zwei Spiegelsegmente, ein erstes Spiegelsegment 1007.1, 1007.2 mit einer ersten optischen Fläche und ein zweites Spiegelsegment 1009.1, 1009.2 mit einer zweiten optischen Fläche, die ohne Lücke hintereinander angeordnet sind. Die ersten Spiegelsegmente 1007.1, 1007.2 sind in vorliegendem Ausführungsbeispiel Segmente von Hyperboloiden und die zweiten Spiegelsegmente 1009.1, 1009.2 Segmente von Ellipsoiden.

Wie im in Figur 1 gezeigten Meridonalschnitt deutlich zu sehen ist, definieren der inneren und äußeren Randstrahl 1016.1, 1016.2, 1018.1, 1018.2 der jeweiligen Spiegelschale beziehungsweise die diesen zugeordneten Verbindungslinien zwischen der Quelle 1, dem Bild der Quelle 5, den Schalenenden 1024.1, 1024.2 und bei Systemen mit zwei Spiegelsegmenten zusätzlich der Übergangsbereich zwischen dem ersten 1007.1, 1007.2 und dem zweiten Spiegelsegment 1009.1 1009.2 einen optisch genutzten Bereich oder ein sogenanntes Strahlrohr durch welchen der Strahlungsfluß vom Objekt bzw. von der Lichtquelle 1 zum Bild 5 der Lichtquelle fließt. Ein Meridonalschnitt oder eine Meridonalebene ist jede Ebene, welche die Rotationsachse RA umfaßt. Zwischen den genutzten Bereichen 1030.1., 1030.2 von mindestens zwei ineinander angeordneten Spiegelschalen 1004.1, 1004.2 liegt nun ein ungenutzter Bereich 1032.

In dem ungenutzten Bereich 1032 zwischen zwei Spiegelschalen 1004.1, 1004.2 können weitere Komponenten des genesteten Kollektors angeordnet werden ohne den Strahlungsfluß von der Lichtquelle 1 zum Bild der Lichtquelle 5 zu beeinflussen. Beispiele für derartige Komponenten wären Detektoren oder Auskoppelspiegel welche Licht auf Detektoren umlenken oder nicht optische

P 15990WO

Komponenten wie Wärmeschilde oder Kühlfallen. Die Kühleinrichtungen 1006.1, 1006.2, 1006.3 können in direktem Kontakt mit den Rückseiten der Kollektorschalen stehen. Auch die Anordnung von Elektroden oder Magneten zur Ablenkung von geladenen oder magnetischen Teilchen ist möglich. Elektrische Leitungen oder Leitungen zur Zu- und Abfuhr von Kühlmittel können bei nur geringfügiger Abschattung der bildseitigen Kollektorapertur, d.h. des ausgeleuchteten Bereiches in der bildseitigen Ebene nach außerhalb des Kollektors geführt werden. Bevorzugt werden diese Leitungen 1044 im Bereich der Schatten der Speichen 1010 des Speichenrades mit Speichen 1010 geführt. Das Speichenrad ist vorliegend gemäß der Erfindung in x-Richtung, d.h. senkrecht zur Scanrichtung ausgerichtet. Die Schalen des genesteten Kollektors selbst sind rotationssymmetrisch um die Rotationsachse z. Natürlich können weitere Kühlelemente oder Defektoren auch in Bereichen außerhalb der äußersten Schale 1004.2 oder der Zentralabschattung 1052 angeordnet werden. Im Bereich der Zentralabschattung kann bevorzugt auch eine Blende angeordnet werden.

Wird der erfindungsgemäße in Figur 1 gezeigte Kollektor in einem Beleuchtungssystem eingesetzt, so wird in oder nahe der bildseitig auszuleuchtenden Ebene 3 das erste optische Element des Beleuchtungssystems mit ersten Rasterelementen, die auch als erste Feldfacetten bezeichnet werden, angeordnet.

In die Speichen des Speichenrades können Nuten eingelassen sein, beispielsweise eingefräst sein. In die Nuten können wiederum die Kollektorschalen eingelassen sein. Auf diese Art und Weise ist es möglich, mit der erfindungsgemäßen Befestigungseinrichtung die Spiegelschalen zu fassen, beispielsweise dadurch, dass die Spiegelschalen in der Nut verklebt werden.

In Figur 2 ist eine weitergebildete Ausführungsform der Erfindung gezeigt. Bei der In Figur 2 gezeigten Ausführungsform ist die Halteeinrichtung stellvertretend für eine einzige Spiegelschale gezeigt. Die Halteeinrichtung umfaßt in der x-y-Ebene zur Halterung der einzelnen Spiegelschalen zwei Speichen 1204.1, 1204.2 und

P 15990WO

10

zusätzlich Stege 1202.1, 1202.2. Jeder der Stege ist an einer Speiche des Speichenrades befestigt. Die Stege tragen zur weiteren mechanischen Stabilisierung des Kollektors bei. Des weiteren sind in Figur 2 noch Kühleinrichtungen zur Kühlung der Kollektorschale gezeigt, die als Kühlringe ausgebildet sind, die um den vollen Umfang des Kollektors laufen.

Die Kühlringe 1200.1 und 1200.2 sind in dem ungenutzten Raum zwischen zwei Spiegelschalen eines Kollektors mit beispielsweise zwei Segmenten je Spiegelschale angeordnet. Ein derartiger zweisehaliger Wolter-Kollektor ist im Meridonaldschnitt beispielsweise in Figur 1 dargestellt. Die Kühlringe 1200.1, 1200.2 werden an im Schatten der Speichen des Speichenrades verlaufende und sich in Richtung der Rotationsachse erstreckenden Haltestrukturen bzw. Stegen 1202.1, 1202.2 gehalten. Die Verbindung der Kühlringe 1200.1 und 1200.2 mit den Haltestegen 1202.1, 1202.2 kann beispielsweise über eine Lötverbindung erfolgen. Diese garantiert einen guten mechanischen und thermischen Kontakt. Die Stege sind bevorzugt aus einem Material guter Wärmeleitfähigkeit hergestellt, beispielsweise Kupfer, und gut lötlbar. Die Kühlringe 1202.1, 1202.2 sind ebenfalls bevorzugt aus einem gut wärmeleitfähigen Material wie Kupfer oder Stahl.

Wie zuvor ausgeführt sind die Stege 1202.1, 1202.2 an den zwei Speichen 1204.1, 1204.2 des Speichenrades, das die einzelnen Spiegelschalen faßt und befestigt, beispielsweise mittels von Schrauben, befestigt. Die Speichen verlaufen in radialer Richtung, d.h. in einer Richtung senkrecht zur Rotationsachse und senkrecht zur Scanrichtung.

In Figur 3 ist die Anordnung der ersten Rasterelemente, die als Feldfacetten bezeichnet werden, auf dem ersten optischen Element mit ersten Rasterelementen, das in der durch den Kollektor auszuleuchtenden Ebene 3 angeordnet ist, gezeigt. Das erste optische Element mit ersten Rasterelementen liegt in einer von der lokalen x- und y-Richtung aufgespannten Ebene. Die von der lokalen x- und y-Richtung aufgespannten Ebene des Feldwabenspiegels steht nicht genau senkrecht auf der Rotationsachse des Kollektors und entspricht damit

P 15990WO

nicht exakt der homogen auszuleuchtenden Ebene 3 aus Figur 1. Geringe Neigungswinkel ändern jedoch an der Ableitung nichts und führen nur zur geringen Verzerrung der Ausleuchtung. Die ersten Rasterelemente 1500 sind in zwölf zueinander beabstandeten Blöcken 1502.1, 1502.2, 1502.3, 1502.4, 1502.5, 1502.6, 1502.7, 1502.8, 1502.9, 1502.10, 1502.11, 1502.12 angeordnet. In dem durch die Zentralabschattung 1504 des Kollektors nicht ausgeleuchteten Bereich sind keine ersten Rasterelemente 1500 angeordnet. Des weiteren sind keine Rasterelemente in dem Bereich des ersten optischen Elementes mit Rasterelementen angeordnet, der durch die parallel zur x-Richtung verlaufenden Speichen des Speichenrades in der bildseitigen auszuleuchtenden Ebene vignettiert wird. Die Vignettierung in der auszuleuchtenden Ebene, in der das optische Element mit ersten Feldfacetten angeordnet ist, ist in Figur 4 zu erkennen. Das Speichenrad, das zu den in Figur 4 gezeigten Vignettierungen in der x'-y'-Ebene des ersten optischen Elementes führt, umfaßt zwei parallel zur x'-Richtung in der lokalen Ebene des Kollektors verlaufende Stützspeichen 2000.1 und 2000.2 sowie vier weitere Stützspeichen 2002.1, 2002.2, 2002.3, 2002.4, die sich in der lokalen x'-y'-Ebene des Kollektors in einer Richtung, die nicht parallel zur x'-Richtung in der lokalen x'-y'-Ebene des Kollektors ist, erstrecken.

Wie zuvor ausgeführt, stimmen die von den lokalen x'- und y'-Richtungen des Kollektors und des Feldwabenspiegels aufgespannten Ebenen nicht exakt überein, sondern sind mit geringen Neigungswinkeln gegeneinander geneigt. Dies ändert jedoch an der allgemeinen Ableitung der Anordnung der Stützspeichen nichts und führt nur zu geringen Verzerrungen der Ausleuchtung.

Die weiteren Stützspeichen 2002.1, 2002.2, 2002.3, 2002.4 sind so angeordnet, daß die durch sie bedingte Vignettierung in der x'-y'-Ebene, in der die ersten Rasterelemente angeordnet sind, die einzelnen ersten Rasterelemente an jeweils unterschiedlichen Orten abschatten. So werden beispielsweise die Feldfacetten des Blockes 1502.2 im wesentlichen in der Mitte abgeschattet, wohingegen die Feldfacetten der Blöcke 1502.11 lediglich am Rand abgeschattet werden und beim Block 1502.3 von vier Feldfacetten lediglich eine am Rand abgeschattet wird.

P 15990WO

12

Beim Block 1502.1 wird gar keine Feldfacette abgeschaltet. Da in dem vorliegenden Fall die Blöcke der ersten Rasterelemente auf dem ersten optischen Element symmetrisch sowohl zur y' -Achse wie auch zur x' -Achse angeordnet sind, gelten dieselben Überlegungen für die zu den Blöcken 1502.1, 1502.2, 1502.3 und 1502.11 symmetrischen Blöcke. Da wie zuvor aufgezeigt die einzelnen Feldfacetten, wenn Symmetrien außer Betracht bleiben, an jeweils unterschiedlichen Orten in der auszuleuchtenden Ebene, in der das optische Element angeordnet ist, durch die Stützspeichen vignettiert werden, mitteln sich die Lichtverluste durch diese Abschattungen in der Feldebene, in der die Bilder sämtlicher Feldwaben miteinander überlagert werden, im wesentlichen aus, so daß durch die erfindungsgemäße Anordnung der Stützspeichen die Uniformität der Ausleuchtung des Feldes in der Feldebene nur in sehr geringem Maße beeinflußt wird. Dies ist bei der Beschreibung zu den Figuren 11 und 12a-c näher erläutert.

Wie aus der Form der Abschattungen in der auszuleuchtenden Ebene hervorgeht, sind in der dargestellten Ausführungsform die Speichen des Speichenrades, die nicht parallel zur x' -Achse verlaufen, verjüngend in Richtung der Rotationsachse des Kollektors, die im Bereich der Zentralabschattung liegt, ausgeführt. Dies hat den Vorteil, dass bezogen auf den Umfang an jeder Schale gleich viel Licht abgeschattet wird.

Die Figuren 5a und 5b zeigen eine einzelne Speiche der in Figur 2 gezeigten Halteeinrichtung in dreidimensionaler Ansicht. Eingezeichnet ist ein x -, y -, z -Koordinatensystem, wobei die Speiche eine Ausdehnung in z -Richtung entlang der Richtung der gemeinsamen Rotationsachse RA der Vielzahl von Spiegelschalen hat. Eingezeichnet sind ferner die Lichtquelle 1 sowie eine Spiegelschale beispielsweise die erste Spiegelschale 1004.1 des Kollektors gemäß Figur 1 und der Strahlengang eines Strahlbüschels 3000 von der Lichtquelle 1 zum Quellbild 5.

Sowohl in der Ausführungsform gemäß Figur 5a wie 5b weist im x - y -Schnitt die Speiche eine in radialer Richtung verjüngende Form wie beispielsweise in Figur 4

P 15990WO

13

beschrieben auf.

Ist wie in Figur 5a die Speiche in z-Richtung nicht verjüngt ausgeführt, so werden die Begrenzungsstrahlen 3002.1, 3002.1 eines Strahlbüschels 3000, die von der Kollektorschale 1004.1 reflektiert werden, vignettiert, wobei die Kollektorschale 1004.1 in einer nicht dargestellten Nut der Speiche befestigt ist. Die Begrenzungsstrahlen 3002.1, 3002.2 des Strahlbüschels werden durch die Ausdehnung der Speiche in x-Richtung für die jeweilige Spiegelschale definiert.

Die durch eine sich in z-Richtung erstreckende Speiche an der Spiegelschale 1004.1 reflektierten und vignettierten Begrenzungsstrahlen 3004.1, 3004.2 sind Figur 5a strichpunktiert eingezeichnet.

Wird wie in Figur 5b dargestellt die Speiche auch in Lichtrichtung, d.h. in z-Richtung verjüngend ausgeführt, so kann eine Abschattung der von der Spiegelschale 1004.1 reflektierten Begrenzungsstrahlen 3004.1, 3004.2 des Strahlbüschels 3000 vermieden werden. Die Begrenzungsstrahlen sind wie in Figur 5a definiert. Bei einer verjüngenden Ausführung wie in Figur 5b gezeigt, verjüngt sich die Speiche im Profil von der objektseitigen Apertur, die das Licht der Lichtquelle 1 aufnimmt, zur bildseitigen Apertur, in die das Licht in Richtung der auszuleuchtenden Ebene 3 und zum Bild der Lichtquelle 5 gelenkt wird. Im Profil weist die Speiche im Bereich der objektseitigen Apertur eine Dicke d_1 und am austrittsseitigen Ende des Kollektors eine wesentlich geringere Dicke d_2 auf.

In Figur 6 ist in einer Prinzipsicht eine Projektionsbelichtungsanlage für die Herstellung von beispielsweise mikroelektronischen Bauteilen, bei der die Erfindung zur Anwendung kommen kann, gezeigt.

Die in Figur 6 gezeigte Projektionsbelichtungsanlage umfaßt eine Lichtquelle 1, sowie einen genesteten Kollektor 30 mit 8 Schalen zur Ausleuchtung einer Ebene 103. Der Aufbau des Kollektors sind in den Figuren 8 und 9 dargestellt und die

P 15990WO

14

Daten in Tabelle 2 wiedergegeben. Der Planspiegel 300 im Strahlengang zwischen genestetem Kollektor und vor dem Zwischenfokus Z kann als Spektralfilter mit einem Beugungswinkel von 2° zwischen 0. und genutzter Beugungsordnung ausgebildet sein. Das erste optische Element 102 umfaßt 122 erste Rasterelemente mit einer Ausdehnung von jeweils 54 mm x 2.75 mm. Das zweite optische Element 104 weist 122 den ersten Rasterelementen zugeordneten zweiten Rasterelementen mit einem Durchmesser von jeweils 10 mm. Die optischen Elemente 106, 108 und 110 dienen im wesentlichen dazu, das Feld in der Objektebene 114 zu formen. Alle Ortsangaben der optischen Komponenten in Tabelle 1 sind auf das Referenz-Koordinatensystem in der Objektebene 114 der Projektionsbelichtungsanlage bezogen. In der Objektebene 114 ist eine nicht dargestellte strukturierte Maske angeordnet, die mittels eines Projektionsobjektives 126 auf das zu belichtende Objekt in der Ebene 124 abgebildet wird. Die Drehung um den Winkel α um die lokale x-Achse der der jeweiligen optischen Komponente zugeordneten lokalen Koordinatensysteme ergeben sich nach translatorischer Verschiebung des Referenz-Koordinatensystemes an den Ort des lokalen Koordinatensystems. Die Parameter der optischen Komponenten des Beleuchtungssystems der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 6 sind in Tabelle 1 angegeben. Das Beleuchtungssystem der in Figur 6 gezeigten Projektionsbelichtungsanlage umfasst die optischen Komponenten von der Lichtquelle 1 bis zur Objektebene 114. Vom Prinzip her ist das Beleuchtungssystem ein doppelt facettiertes Beleuchtungssystem wie in der US 6,198,793 B1 offenbart, deren Inhalt vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen wird. In Tabelle 1 sind die Positionen der Scheitelpunkte der einzelnen optischen Elemente bezüglich der Objektebene 114 angegeben und die Drehwinkel α der Koordinatensysteme um die x-Achse. Des weiteren werden rechtshändige Koordinatensysteme und Drehung im Uhrzeigersinn zugrundegelegt. Neben den lokalen Koordinatensystemen der optischen Komponenten sind die lokalen Koordinatensysteme des Zwischenfokusses Z und der Eintrittspupille E angegeben. Der feldformende Spiegel 110 besteht aus einem außeraxialen

P 15990WO

15

5 Segment eines Rotationshyperboloids. Die Koordinatensysteme für sämtliche in Tabelle 1. beschriebenen optischen Elemente des Beleuchtungssystem der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 6 ausgenommen den genesteten Kollektor 30 sind in Figur 7 gezeigt. Sämtliche optischen Elemente sind mit denselben Bezugsziffern wie in Figur 6 belegt.

10 Das System ist für einen Feldradius von 130 mm bei einer Beleuchtungsapertur von $NA = 0.03125$ in der Objektebene 114, d. h. am Retikel ausgelegt, entsprechend einem Füllgrad von $\sigma = 0.5$ in der Eintrittspupille E eines nachfolgenden 4:1-Projektionsobjektives mit einer Apertur $NA = 0.25$ in der Ebene 124 des zu belichtenden Objektes.

15 Das Retikel ist in der als Scanning-System ausgelegten Projektionsbelichtungsanlage in die eingezeichnete Richtung 116 verfahrbar.

20 Die Austrittspupille des Beleuchtungssystems wird weitgehend homogen ausgeleuchtet. Die Austrittspupille fällt mit der Eintrittspupille E des nachfolgenden Projektionsobjektives 126 zusammen. Die Eintrittspupille befindet sich an der Stelle des Schnittpunktes des vom Retikel reflektierten Hauptstrahles mit der optischen Achse HA des Projektionsobjektives.

25 Das Projektionsobjektiv 126 umfasst beispielsweise sechs Spiegel 128.1, 128.2, 128.3, 128.4, 128.5, 128.6 gemäß der US-Patentanmeldung 09/503640 und bildet das Retikel in der Objekteben 114 auf das zu belichtende Objekt 124 ab.

P 15990WO

16

Tabelle 1: Designdaten des Beleuchtungssystems der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 6

Position	Y	Z	α	Scheitel- krümmungs- radius	konische Konstante
Licht-Quelle 1	2148.137	-1562.205	70.862	- keine Spiegelfläche -	
Planspiegel bzw. Spektralfilter 200	1184.513	-1227.797	147.434	Plan	
Zwischenfokus Z	883.404	-893.382	42.000	- keine Spiegelfläche -	
Erstes facettiertes optisches Element 102	302.599	-248.333	36.000	-898.54	Sphärisch
Zweites facettiertes optisches Element 104	773.599	-1064.129	214.250	-1090.15	Sphärisch
Spiegel 106	126.184	-250.216	31.500	288.1	Sphärisch
Spiegel 108	372.926	-791.643	209.600	-855.8	Sphärisch
Spiegelscheitel von Spiegel 110	-227.147	118.541	-4.965	-80.5	-1.1485701
Objektebene 114	0.000	0.000	0.000	Plan	
Eintrittspupille E	-130.000	-1236.867	0.000	- keine Spiegelfläche -	

5

Zur Reduktion der Systemlänge ist die bildseitige Apertur des genesteten Kollektors 30, der einen Aufbau wie in Figur 8 hat, auf $NA = 0.115$ erhöht, wofür die Auslegung als Woltersystem besonders vorteilhaft ist. Die objektseitige Apertur beträgt $NA \sim 0.71$. Zusätzlich eingefügt ist auf den Kollektor 30 folgend ein Planspiegel 300 zur Faltung des Systems, um Bauräume für mechanische und elektronische Komponenten in der Objektebene 114, in der die Waferstage angeordnet ist, zur Verfügung zu stellen. Das gesamte optische System ist weniger als 3 m lang und weniger als 1.75 m hoch.

0

P 15990WO

17

Der Planspiegel 300 ist in der vorliegenden Ausführungsform als diffraktiver Spektralfilter ausgelegt worden, d.h. durch ein Gitter realisiert. Zusammen mit der Blende 302 in der Nähe des Zwischenbildes Z der Quelle kann damit

5 ungewünschte Strahlung mit beispielsweise Wellenlängen wesentlich größer als der gewünschten Wellenlänge, im vorliegenden Fall 13.5 nm, vom Eintritt in den Teil des hinter der Blende 302 liegenden Beleuchtungssystems abgehalten werden.

Die Blende 302 kann auch dazu dienen, den Raum 304 umfassend Lichtquelle 1, den genesteten Kollektor 3 sowie den als Gitter ausgelegten Planspiegel 300 vom nachfolgenden Beleuchtungssystem 306 räumlich zu trennen. Werden beide Räume durch das Einbringen eines Ventiles nahe des Zwischenfokus Z getrennt, so ist auch eine druckmäßige Trennung möglich. Durch eine räumliche

15 beziehungsweise eine druckmäßige Trennung kann verhindert werden, daß Verschmutzungen, die von der Lichtquelle herrühren in das hinter der Blende 302 liegende Beleuchtungssystem gelangen.

Der Kollektor 30 der Projektionsbelichtungsanlage gemäß Figur 6 ist in Figur 8 gezeigt und hat einen Abstand zwischen Quelle 1 und Zwischenbild der Quelle Z von 1500 mm, eine objektseitige Apertur von ~ 0.72 und eine bildseitige Apertur von ~ 0.115 . Sämtliche Einfallswinkel relativ zur Flächentangente sind $\leq 13^\circ$. Der Einfallswinkel relativ zur Flächentangente des Maximalstrahls beim Ausführungsbeispiel gemäß Figur 8 beträgt $11,9^\circ$.

In Figur 8 ist des weiteren eine im Inneren der innersten Spiegelschale angeordnete Blende 180 gezeigt. Genestete, reflektive Kollektoren weisen wegen der endlichen Größe der Spiegelschalen notwendigerweise eine zentrale Abschattung auf, d. h. unterhalb eines bestimmten Aperturwinkels NA_{\min} kann die Strahlung der Quelle nicht aufgenommen werden. Die Blende 180 verhindert, daß direkt

P 15990WO

18

durch die zentrale Schale gelangendes Licht nicht als Falschicht in das nachfolgende Beleuchtungssystem gelangt.

Die Blende 180 ist beispielsweise 78 mm hinter der Quelle angeordnet und hat einen Durchmesser von 30.3 mm entsprechend einer Aperturobskuration von $NA_{\text{obs}} \sim 0.19$. die bildseitige Aperturobskuration beträgt entsprechend $NA'_{\text{obs}} \sim 0.0277$.

In Figur 9 sind beispielhaft für die Spiegelschale 200, 202, 204, 205, 206, 207, 208, 209 des Kollektors gemäß Figur 8 die charakteristischen Koordinaten eines Woltersystems, umfassend zwei Segmente, beispielsweise das erste Segment 200.1 und das zweite Segment 200.3 der ersten Spiegelschale 200 dargestellt. Es bezeichnet ZS die z-Position des Flächenscheitels bezogen auf die Position der Lichtquelle 1, ZV und ZH die Anfangs- und Endposition des ersten Segmentes 200.1, das ein Hyperboloid ist, bezogen auf die Position des Flächenscheitels ZS. Für das zweite Segment 200.3 der Spiegelschale, das ein Ellipsoid ist, werden die Bezugszeichen ZS, ZH und ZV in analoger Art und Weise verwandt.

Mit den Krümmungsradien R und der konischen Konstanten K des jeweiligen Spiegelsegmentes sowie den angegebenen Definitionen ergeben sich die Designdaten des Kollektors gemäß Figur 8 aus nachfolgender Tabelle 2. Als Beschichtung der Spiegelschalen wurde Ruthenium gewählt.

P 15990WO

19

Tabelle 2: Designdaten des Kollektors gemäß Figur 8

	Hyperboloid				
Schale	R [mm]	K	ZS [mm]	ZV [mm]	ZH [mm]
1	1.5866	-1.0201	-0.79	108.99	185.86
2	2.3481	-1.0286	-1.17	107.92	183.90
3	3.5076	-1.0399	-1.74	107.56	182.35
4	5.0414	-1.0571	-2.49	105.05	179.53
5	7.2534	-1.0814	-3.56	102.83	177.68
6	10.4354	-1.1182	-5.07	99.95	175.90
7	15.0523	-1.1755	-7.22	94.87	173.09
8	22.3247	-1.2660	-10.50	88.88	169.39
	Ellipsoid				
Schale	R[mm]	K	ZS[mm]	ZV[mm]	ZH[mm]
1	2.3724	-0.9971	-160.94	349.66	433.46
2	3.3366	-0.9960	-168.17	353.68	440.17
3	4.6059	-0.9945	-181.56	363.50	454.10
4	6.4739	-0.9923	-184.74	364.03	457.33
5	9.0813	-0.9893	-189.80	366.19	463.15
6	12.8589	-0.9849	-193.20	365.14	466.03
7	18.4682	-0.9783	-195.28	362.33	470.02
8	26.8093	-0.9688	-202.36	362.94	480.72

Das Ausführungsbeispiel des Woltersystems gemäß Figur 8 mit acht Schalen ist so gewählt, daß alle Schalen in etwa in einer Ebene 181 enden. Damit können alle Schalen in einer Ebene 181 gefaßt werden.

Als Fassung der Schalen dienen die erfindungsgemäßen Stützspeichen. Die Stützspeichen verleihen dem genesteten Kollektor mit einer Vielzahl von Spiegelschalen Stabilität.

P 15990WO

20

In Figur 10 ist die Überlagerung der Bilder der ersten Rasterelemente, die auch als Feldwaben bezeichnet werden in der Feldebene gezeigt. Die Überlagerung der Bilder 3500 der ersten Rasterelemente ergeben ein ringförmiges Feld in der Feldebene. Die Feldebene wird durch die x-y-Ebene aufgespannt. Hierbei ist die y-Richtung parallel zur Scanrichtung und die x-Richtung steht senkrecht auf der Scanrichtung einer Projektionsbelichtungsanlage vom Scannertyp. Jedem Feldpunkt in der x-y-Ebene ist eine Intensität $I(x,y)$ zugeordnet.

Eine charakteristische Größe für Projektionsbelichtungsanlagen vom Scannertyp ist die Uniformität der Scanenergie in Scanrichtung, d.h. in y-Richtung integrierte Scanenergie $SE(x)$.

Die scan-integrierte Energie $SE(x)$ ergibt sich für ein Feld mit einer Intensitätsverteilung $I(x,y)$ durch Integrieren der Intensitätsverteilung in Scan-Richtung, d.h.:

$$SE(x) = \int I(x, y) dy$$

Der Uniformitätsfehler ist durch

$$\Delta SE = \frac{SE_{\max} - SE_{\min}}{SE_{\max} + SE_{\min}}$$

gegeben, wobei SE_{\max} bzw. SE_{\min} den maximalen bzw. minimalen Wert der scan-integrierten Energie $SE(x)$ innerhalb des ausgeleuchten Feldes, das eine Ausdehnung in x- und y-Richtung aufweist und eine Form wie in Figur 10 gezeigt, bezeichnet.

P 15990WO

21

In Figur 11 ist der Verlauf der scan-integrierten Energie $SE(x)$ für ein Feld wie in Figur 10 dargestellt, gezeigt.

5 Die Kurve 4100 ergibt sich für die scan-integrierte Energie $SE(x)$ in der Feldebene, wenn der Kollektor insgesamt 6 Speichen aufweist, wobei zwei Speichen senkrecht zur Scanrichtung in x-Richtung verlaufen und vier Speichen jeweils unter einem Winkel von 45 Grad zur x-Richtung. Eine Draufsicht in der lokalen x-y-Ebene eines derartigen Kollektors ist in Figur 12 a gezeigt. Hierbei bezeichnet 10 4000.1 und 4000.2 die beiden in y-Richtung verlaufenden Speichen und 4002.1, 4002.2, 4002.3, 4002.4 die gegenüber der y-Richtung um den Winkel $\alpha=45^\circ$ geneigten vier Speichen. Der Uniformitätsfehler $\Delta SE(x)$, wie oben definiert, beträgt lediglich 1.5 %.

15 Bezugsziffer 4102 bezeichnet den Verlauf der Scanenergie $SE(x)$ in der Feldebene für den Fall, dass der Kollektor 6 Speichen umfasst, wobei zwei Speichen 4000.1, 4000.2 sich in y-Richtung erstrecken und vier Speichen 4002.1, 4002.2, 4002.3, 4002.4 unter einem Winkel von 60° gegenüber der y-Achse geneigt sind. Eine derartige Anordnung ist in Figur 12 b gezeigt. Der 20 Uniformitätsfehler $\Delta SE(x)$ beträgt in einem derartigen Fall 4.6 %.

25 Bezugsziffer 4104 bezeichnet den Verlauf der Scanenergie $SE(x)$ in der Feldebene für den Fall, dass der Kollektor sechs Speichen umfasst, wobei zwei Speichen 4000.1, 4000.2 sich in x-Richtung erstrecken und vier Speichen 4002.1, 4002.2, 4002.3, 4002.4 unter einem Winkel von 30° gegenüber der y-Achse geneigt sind. Eine derartige Anordnung ist in Figur 12 c gezeigt. Der 30 Uniformitätsfehler $\Delta SE(x)$ beträgt in einem derartigen Fall 8.3 %. Wie aus vorangegangenen Beispielen ersichtlich, kann durch die Anordnung der Stützspeichen die Uniformität der Ausleuchtung in der Feldebene beeinflusst werden.

In allen Fällen stimmt das lokale Koordinatensystem in der Kollektorebene mit

P 15990WO

22

weitgehend mit dem lokalen Koordinatensystem des ersten optischen Element mit Rasterelementen wie beispielsweise in Figur 3 gezeigt überein.

5 Mit der Erfindung wird somit erstmals ein Kollektor mit einer Befestigungseinrichtung für eine Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen angegeben, der sich zum einen dadurch auszeichnet, dass er eine hohe Stabilität aufweist und zum anderen dadurch, dass durch die Anordnung der Speichen die Gleichmäßigkeit der Feldausleuchtung in der Feldebene, in der eine Maske bzw. ein Retikel angeordnet ist, nur zu einem sehr geringen Maß beeinflusst wird.

10

P 15990WO

23

Patentansprüche

- 5 1. Kollektor für ein eine Projektionsbelichtungsanlage, die in einem Scan-Modus entlang einer Scanrichtung mit einer Wellenlänge ≤ 193 nm, bevorzugt ≤ 126 nm, besonders bevorzugt EUV-Wellenlängen betrieben wird, wobei der Kollektor Licht einer Lichtquelle objektseitig aufnimmt und einen Bereich in einer bildseitigen Ebene, die von einem lokalen Koordinatensystem aufgespannt wird, wobei die y-Richtung des lokalen Koordinatensystems parallel zur Scanrichtung und die x-Richtung senkrecht zur Scanrichtung ist, ausleuchtet
wobei der Kollektor aufweist:
- 15 1.1 eine Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen (1004.1, 1044.2), umfassend jeweils wenigstens ein erstes Spiegelsegment (1007.1, 1007.2), umfassend eine erste optische Fläche, wobei die Spiegelschalen um eine gemeinsame Rotationsachse (RA) ineinander angeordnet sind;
wobei
- 20 1.2 der Kollektor Befestigungseinrichtungen zum Befestigen der Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen umfaßt,
und die
- 25 1.3 Befestigungseinrichtungen Stützspeichen (1010, 1204.1, 1204.2, 1204.3, 1204.4, 2000.1, 2000.2, 2002.1, 2002.2, 2002.3, 2002.4) aufweisen, die sich in radialer Richtung der rotationssymmetrischen Spiegelschalen erstrecken,
dadurch gekennzeichnet
- 30 1.4 die Stützspeichen derart angeordnet sind, dass, wenn sie in die bildseitige auszuleuchtende Ebene projiziert werden, gegenüber der y-Richtung des lokalen Koordinatensystems in der bildseitigen Ebene geneigt sind.
2. Kollektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Teil der Stützspeichen (2001.1, 2000.2, 2002.1, 2002.2, 2002.3, 2002.4) eine sich in radialer Richtung zur Rotationsachse hin verjüngende Form aufweisen.

P 15990WO

24

3. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Stützspeichen Nuten umfassen, in die die einzelnen Spiegelschalen eingelassen sind.
4. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Stützspeichen sich in Richtung der Rotationsachse des Kollektors zur auszuleuchtenden Ebene hin verjüngen.
5. Kollektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine Speiche (2000.1, 2000.2) einer Vielzahl von Speichen des Kollektors, wenn sie in die bildseitige auszuleuchtende Ebene projiziert werden, parallel zur lokalen x-Richtung in der bildseitigen, auszuleuchtenden Ebene (3) verlaufen.
6. Beleuchtungssystem für eine Projektionsbelichtungsanlage, die in einem Scan-Modus entlang einer Scanrichtung mit einer Wellenlängen ≤ 193 nm, insbesondere < 126 nm, besonders bevorzugt im EUV-Wellenlängenbereich betrieben wird zur Ausleuchtung eines Feldes in einer Feldebene (114), wobei das Feld eine Ausdehnung parallel zur Scanrichtung und eine Ausdehnung senkrecht zur Scanrichtung aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass der Kollektor ein Kollektor gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 ist und das Beleuchtungssystem wenigstens ein erstes optisches Element (102) mit Rasterelementen aufweist, dass in der auszuleuchtenden bildseitigen Ebene (3) angeordnet ist.
7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß jede Stützspeichen (2002.1, 2002.2, 2002.3, 2002.4), die nicht parallel zur lokalen x-Richtung verläuft, wenn sie in die Ebene projiziert wird, in der das erste optische Element mit ersten Rasterelementen angeordnet ist, derart angeordnet ist, daß ihre Projektion in diese Ebene die Vielzahl der ersten

P 15990WO

25

Rasterelemente des ersten optischen Elementes an jeweils unterschiedlichen Orten auf den ersten Rasterelementen schneidet und damit vignettiert.

- 5
- 8. EUV-Projektionsbelichtungsanlage mit
 - 8.1 einem Beleuchtungssystem gemäß einem der Ansprüche 7 bis 10,
 - 8.2 einer Maske, die von dem Beleuchtungssystem beleuchtet wird,
 - 8.3 einem Projektionsobjektiv (126) zur Abbildung der Maske auf
 - 8.4 ein lichtsensitives Objekt (124).
 - 9. Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen, insbesondere Halbleiter-Bauteile, mit einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage gemäß Anspruch 11.
- 16

P 15990WO

26

Kollektor mit Befestigungseinrichtungen zum Befestigen von Spiegelschalen

Zusammenfassung

5

Die Erfindung betrifft einen Kollektor für eine Projektionsbelichtungsanlage, die in einem Scan-Modus entlang einer Scanrichtung mit einer Wellenlänge ≤ 193 nm, bevorzugt ≤ 126 nm, besonders bevorzugt EUV-Wellenlängen betrieben wird, wobei der Kollektor Licht einer Lichtquelle objektseitig aufnimmt und einen Bereich in einer bildseitigen Ebene, die von einem lokalen Koordinatensystem aufgespannt wird, wobei die y-Richtung des lokalen Koordinatensystems parallel zur Scanrichtung und die x-Richtung senkrecht zur Scanrichtung ist, ausleuchtet wobei der Kollektor aufweist:

10

- eine Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen, umfassend jeweils wenigstens ein erstes Spiegelsegment, umfassend eine erste optische Fläche, wobei die Spiegelschalen um eine gemeinsame Rotationsachse ineinander angeordnet sind;

15

- Befestigungseinrichtungen zum Befestigen der Vielzahl von rotationssymmetrischen Spiegelschalen,

20

und die

- Befestigungseinrichtungen Stützspeichen aufweisen, die sich in radialer Richtung der rotationssymmetrischen Spiegelschalen erstrecken,

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass

25

die Stützspeichen derart angeordnet sind, dass, wenn sie in die bildseitige auszuleuchtende Ebene projiziert werden, gegenüber der y-Richtung des lokalen Koordinatensystems in der bildseitigen Ebene geneigt sind.

30

P15990W0

Fig. 1

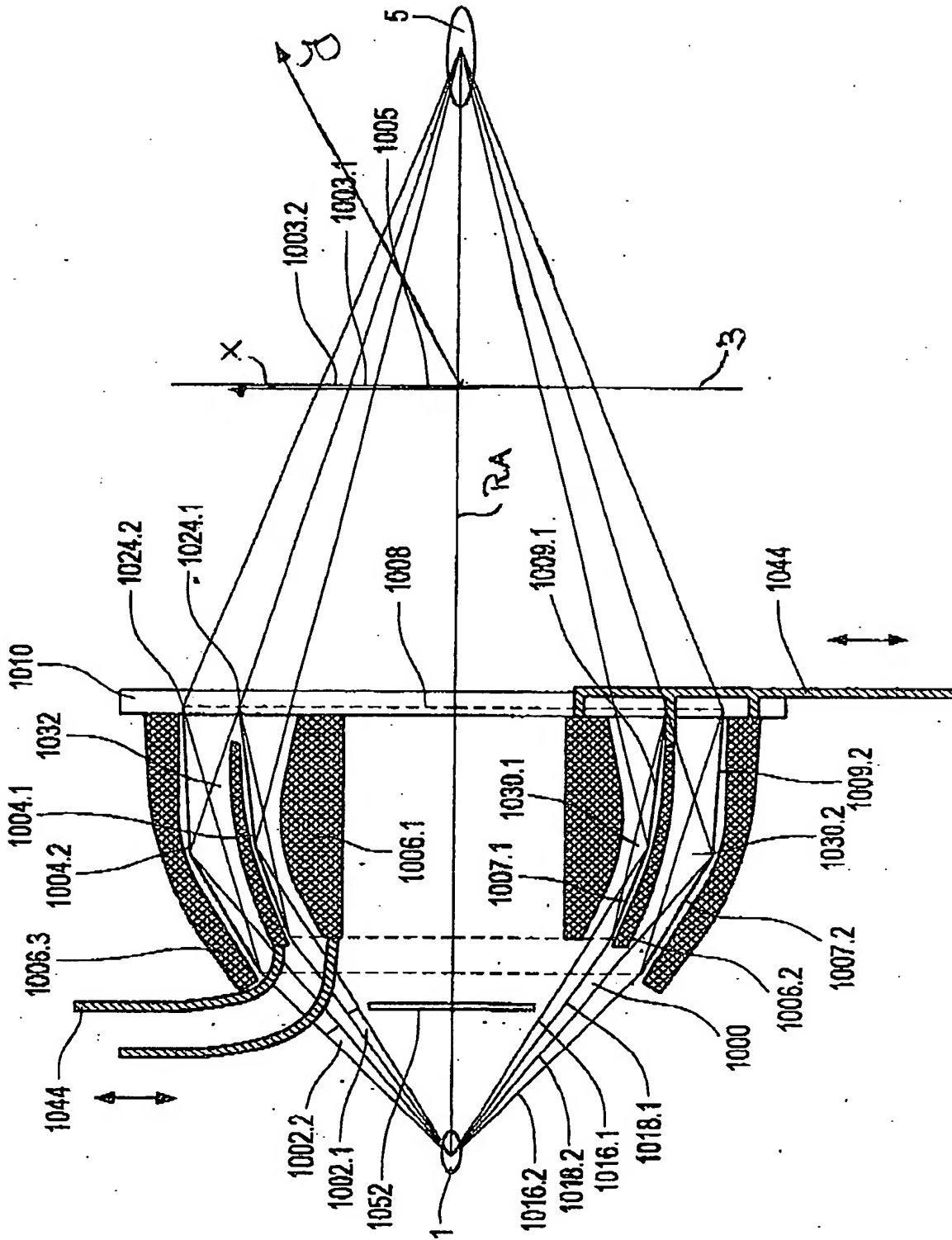
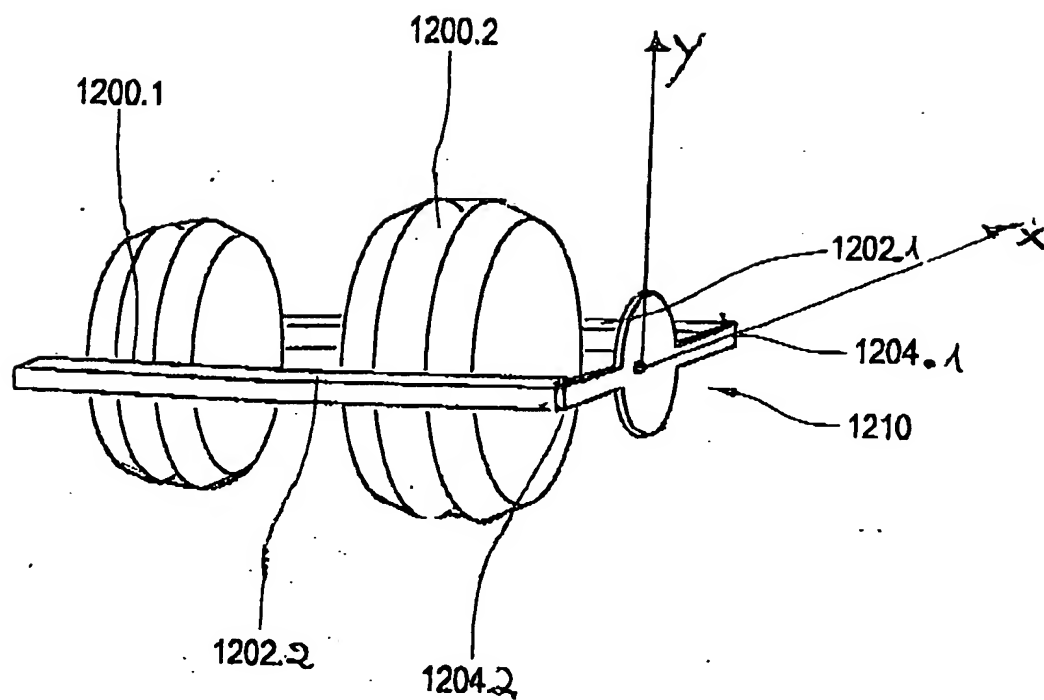
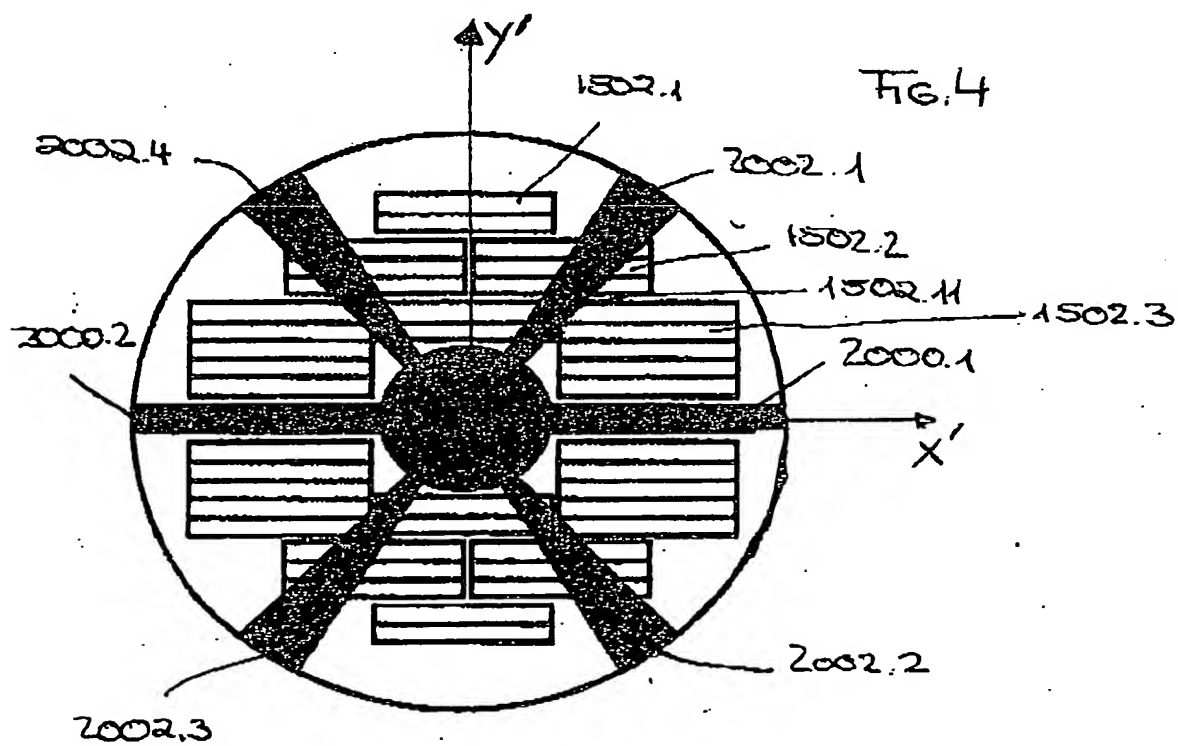
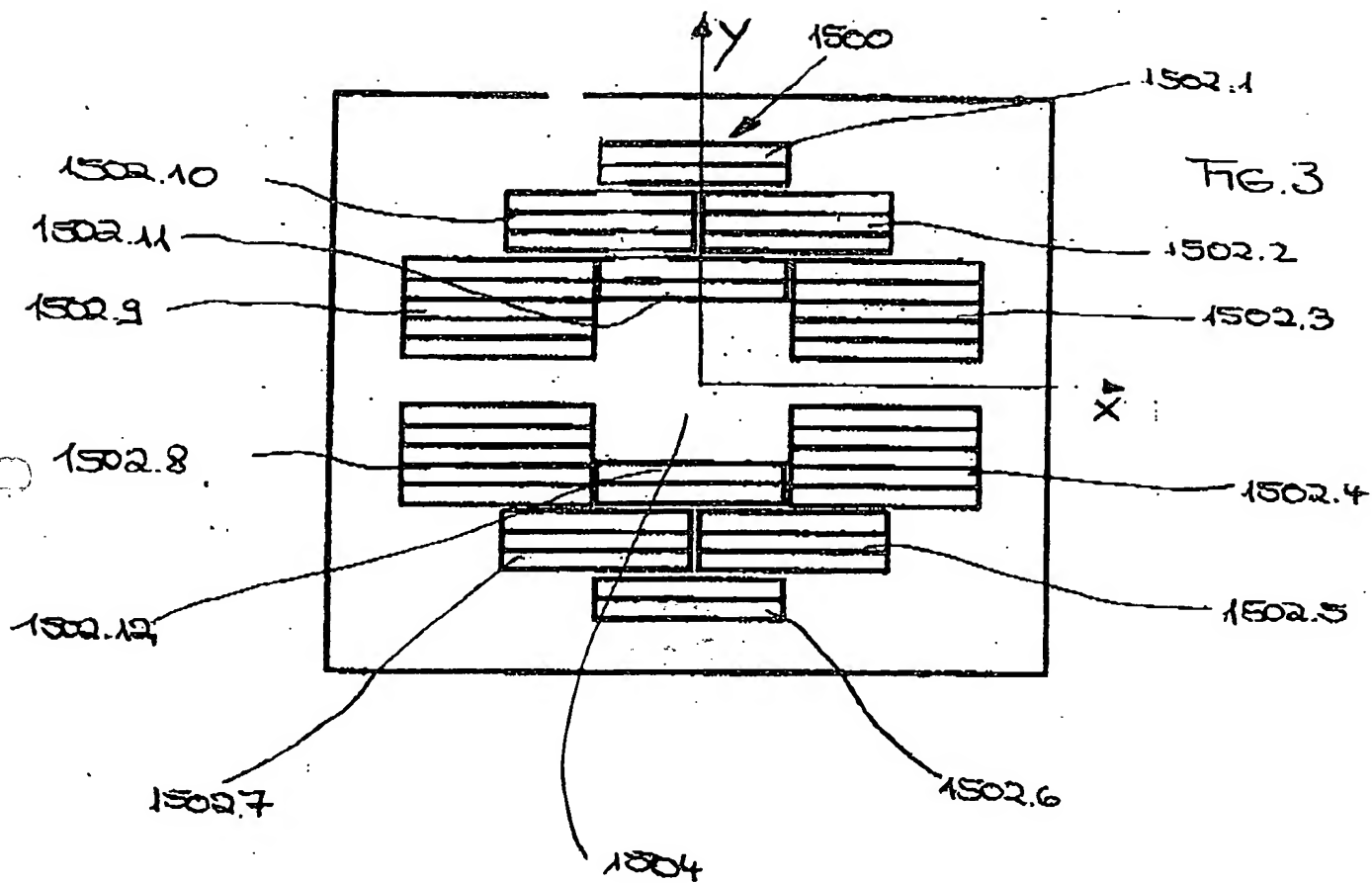


Fig.2





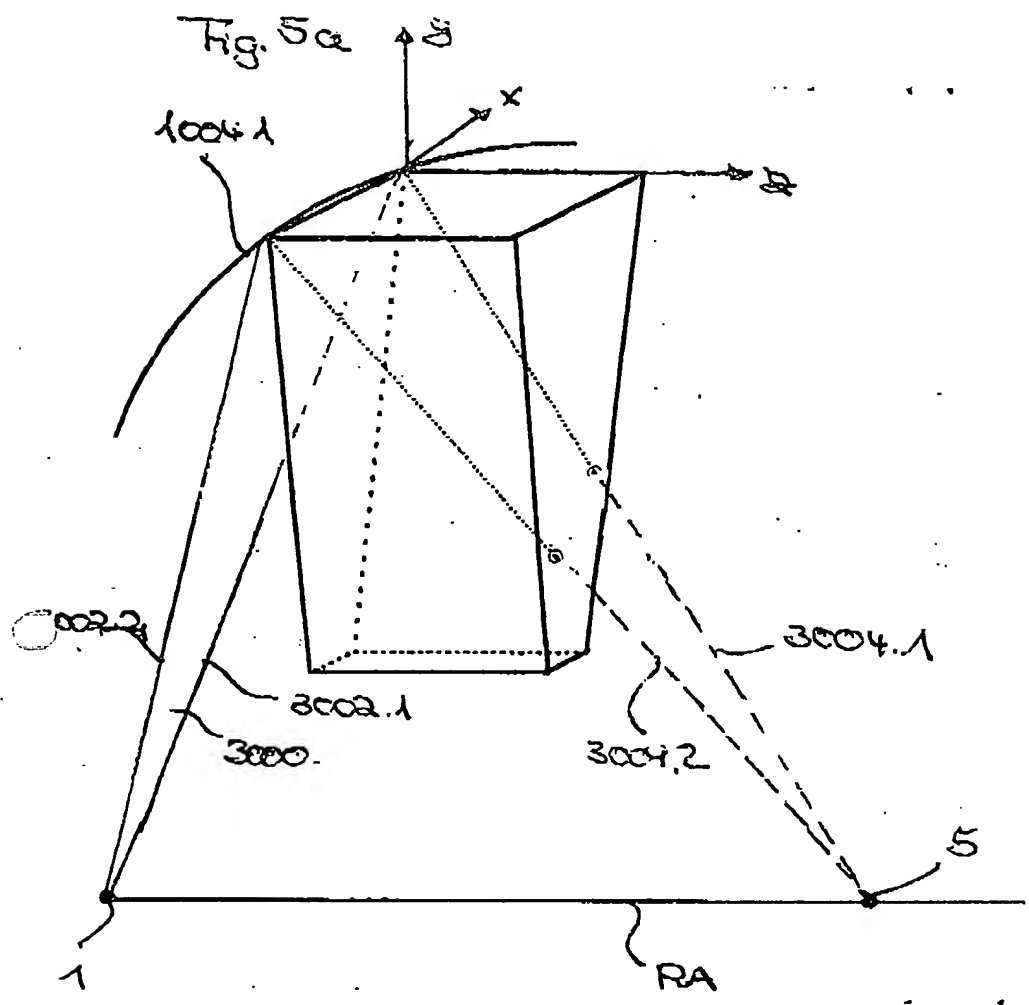
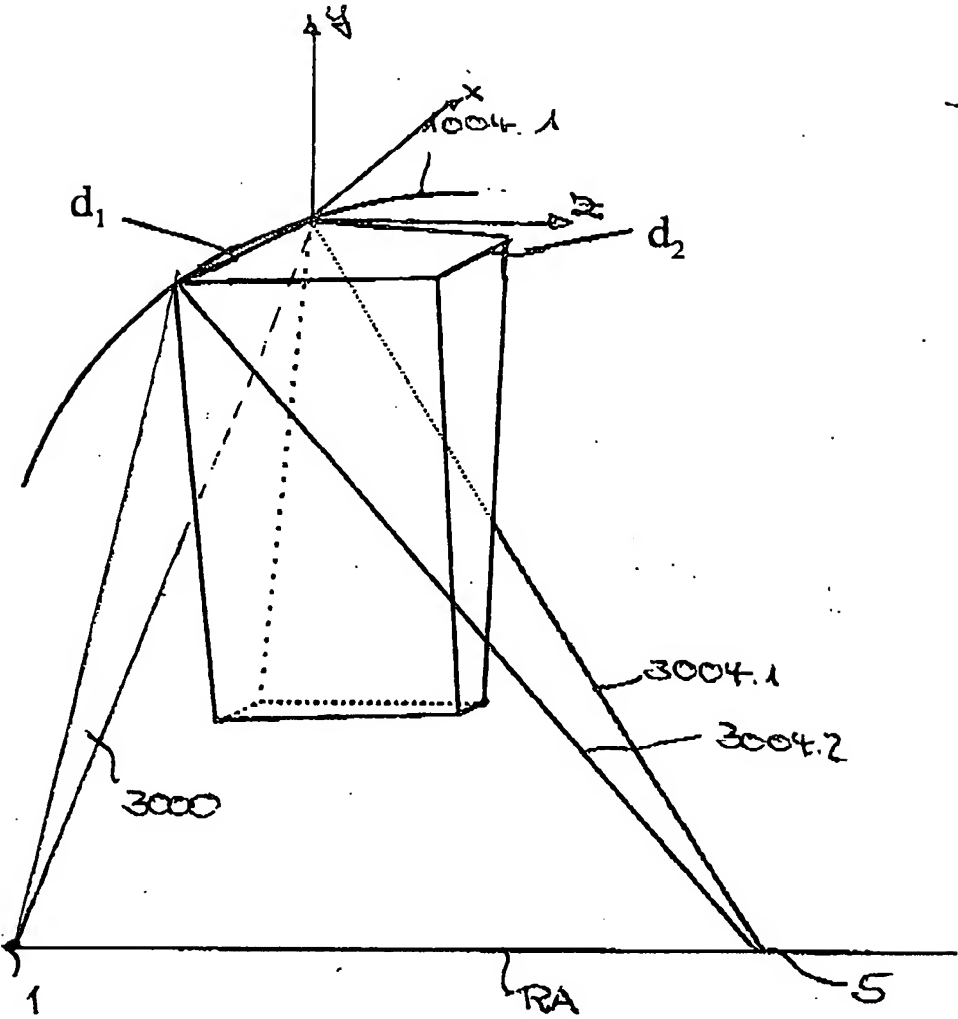


Fig. 53



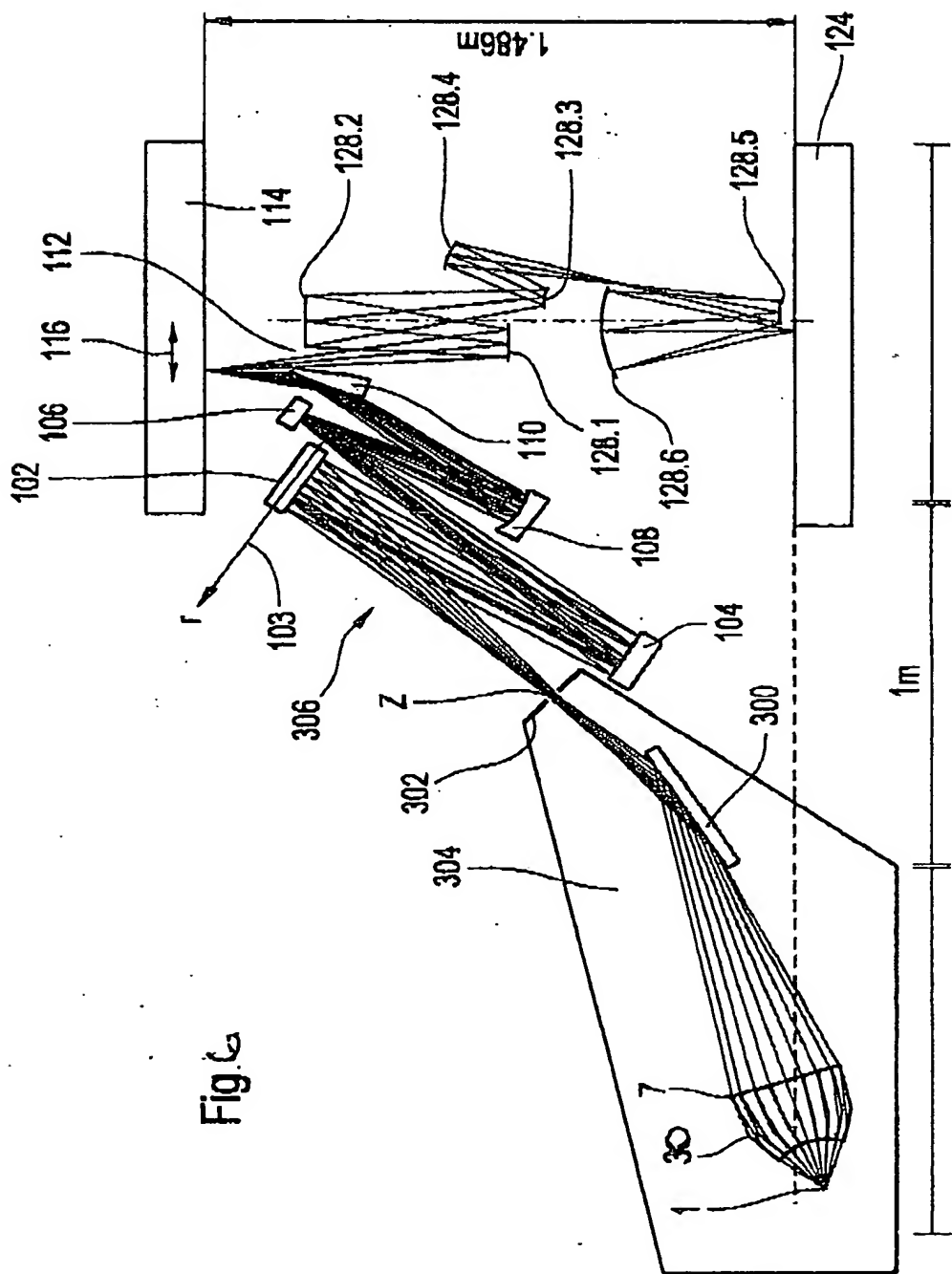


Fig. 6

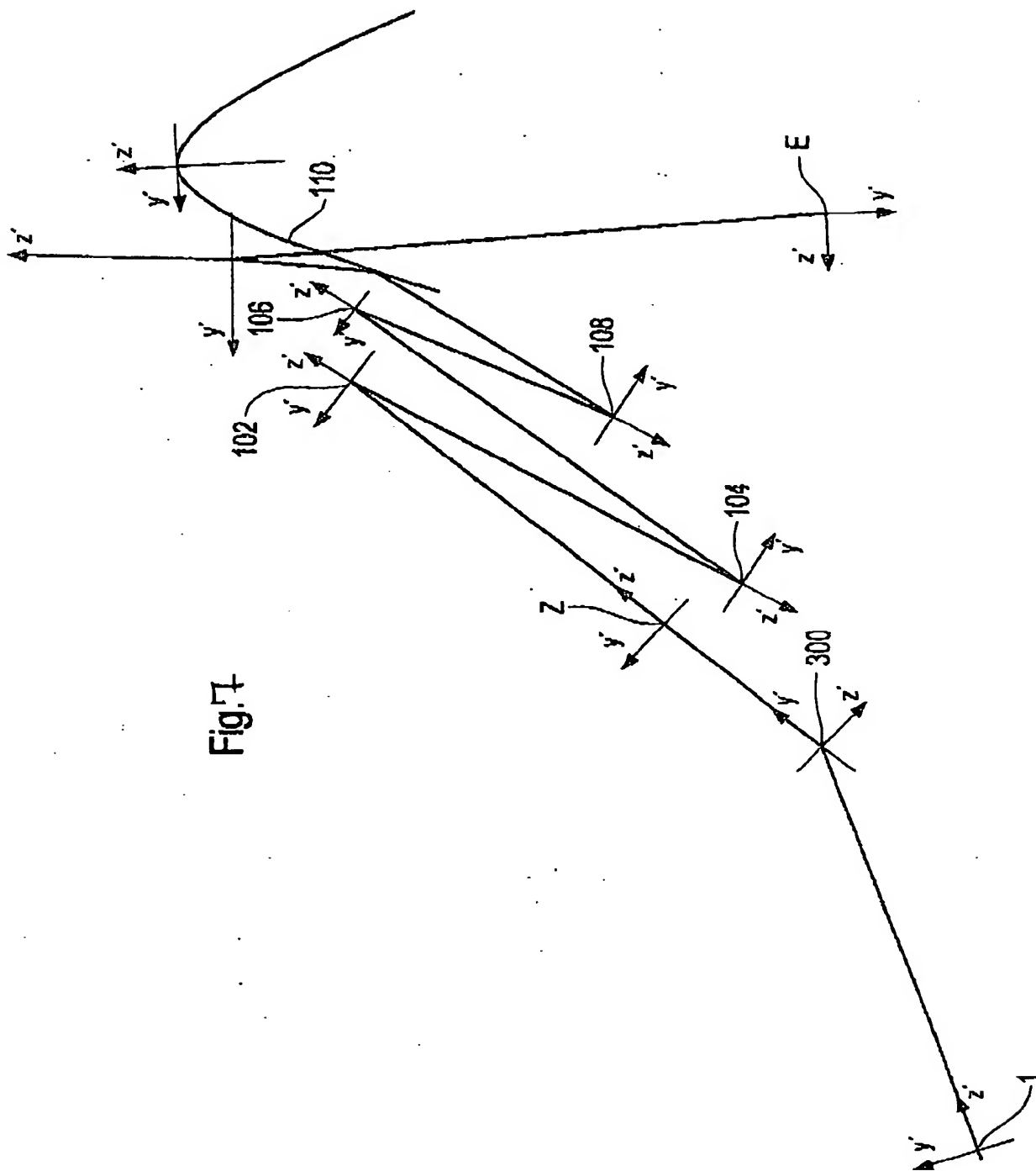


Fig. 7

Fig.8

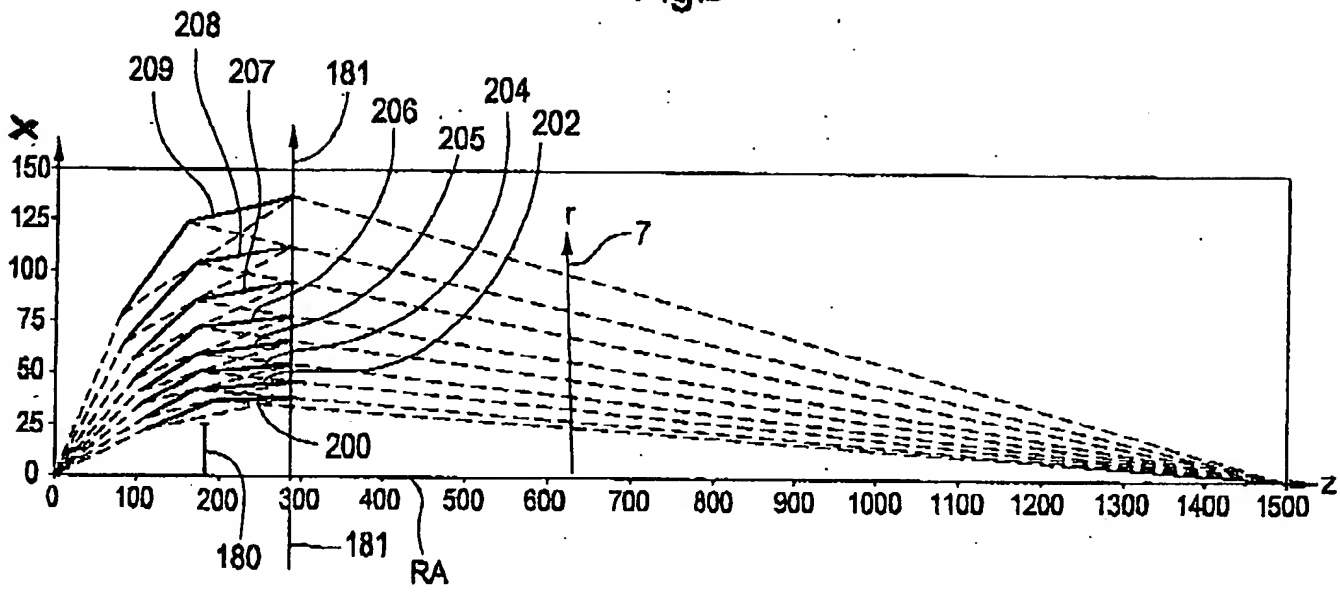


Fig.9

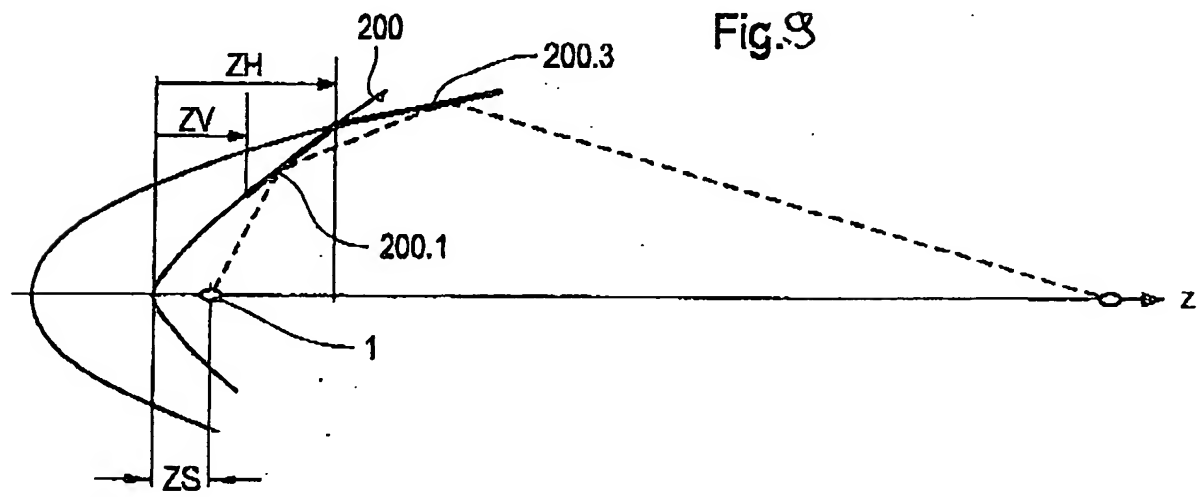
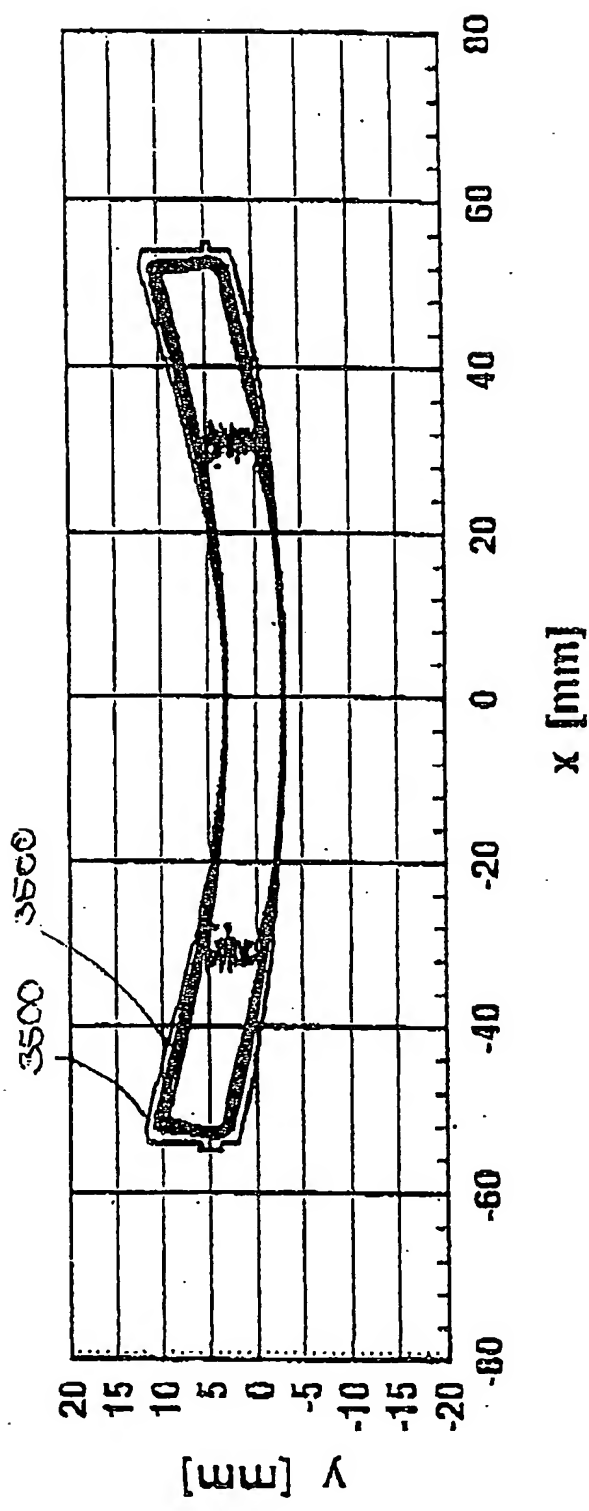


FIG. 10



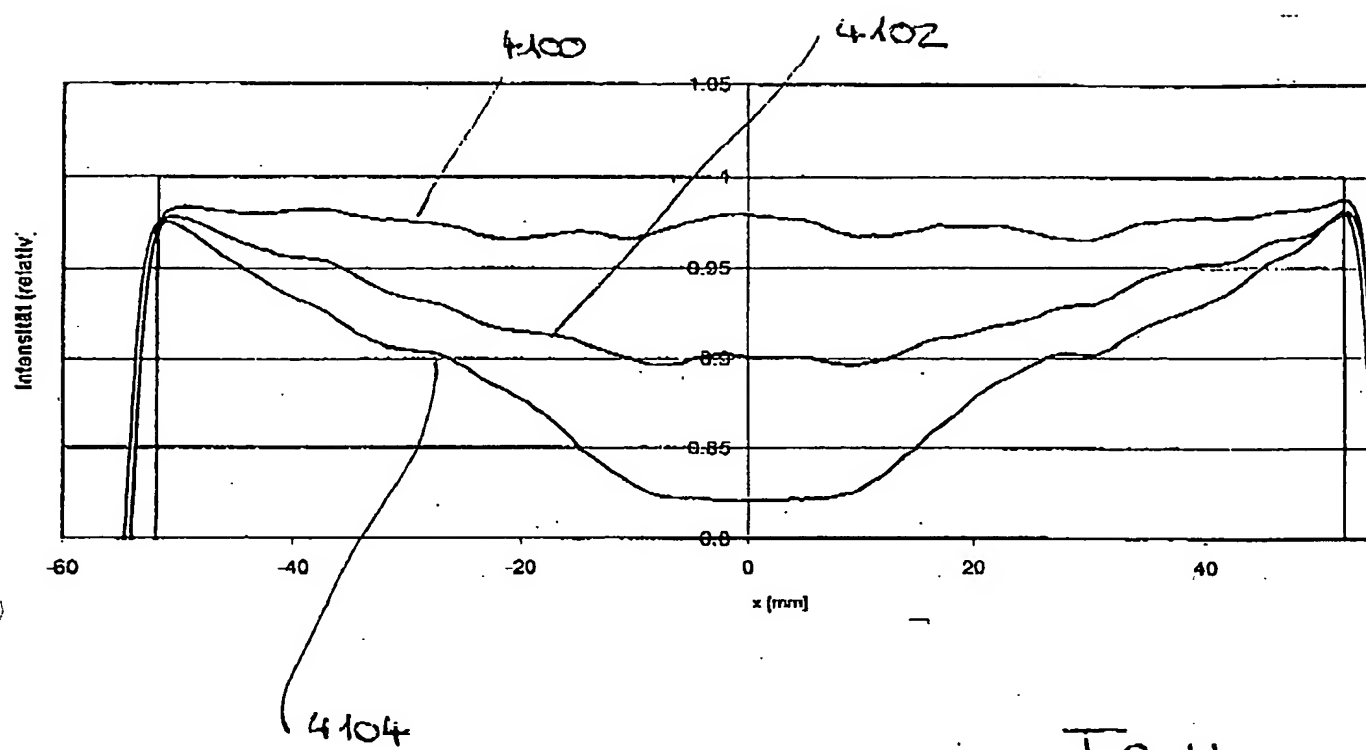


Fig. 11

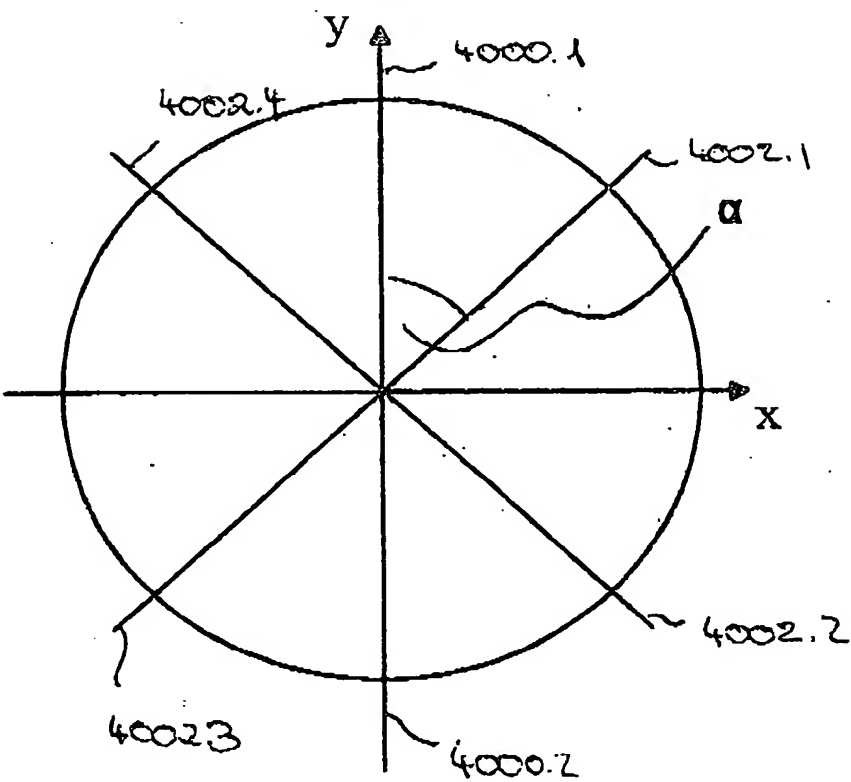


Fig. 12a

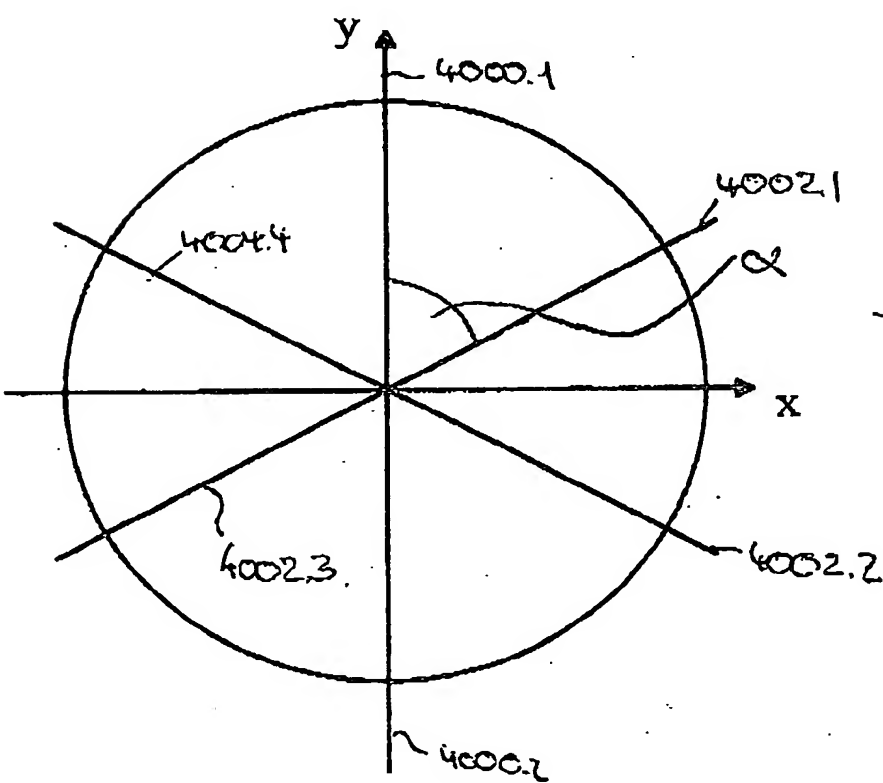


Fig 12b

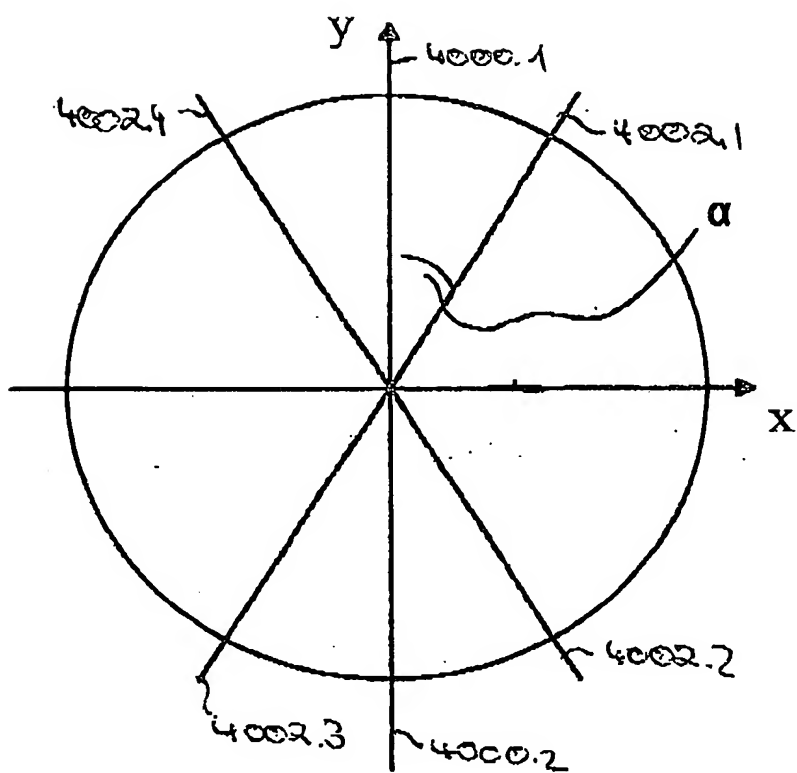


Fig 12c.

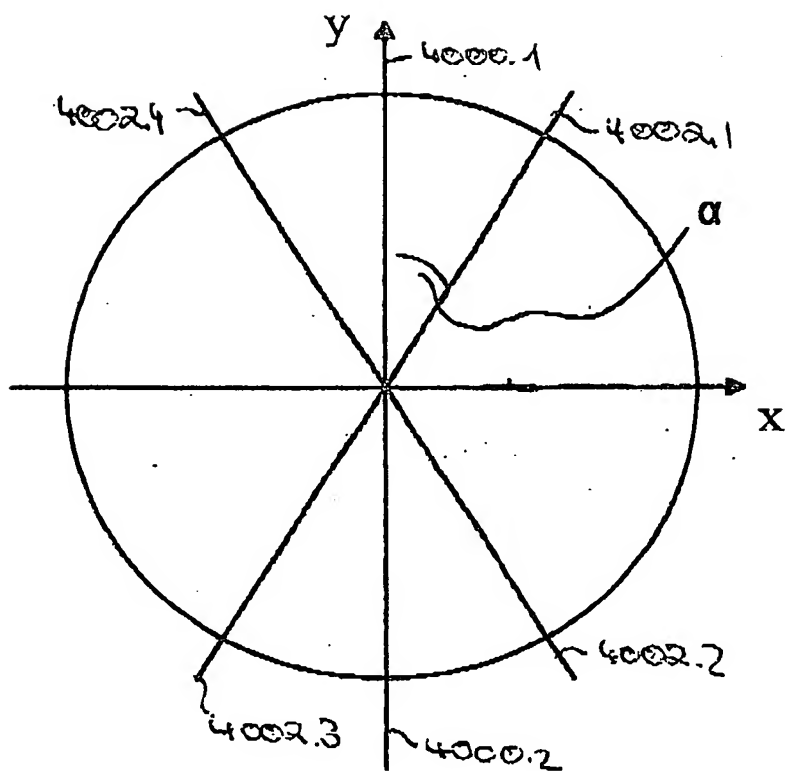


Fig 12c.